

天基发射与载人登月初探

张泽明¹, 姜毅², 傅德彬²

(1. 北京特种工程设计研究院, 北京 100028; 2. 北京理工大学, 北京 100081)

[摘要] 登月是载人航天向深空探测的延续, 它与载人飞船工程相比, 可靠性要求更高, 工程规模更大, 资金投入更多。结合国外登月历程和我国航天事业取得的重大成就, 探讨了利用现有运载技术, 分批次将登月飞船和航天员送入近地轨道, 并在天基发射平台上进行组装发射, 实现载人登月的设想; 并就天基发射平台和天基发射方式进行了初步探讨。

[关键词] 登月; 天基发射; 发射平台; 登月轨道; 技术途径

[中图分类号] V476; V525 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)10-0037-05

1 引言

我国的探月工程一期已正式启动, 为实现中华民族千百年来“嫦娥奔月”的美丽梦想拉开了序幕。从绕月探测到月面软着陆, 再到自动巡视勘察, 中国人终将登上月球。把人类送上月球, 在技术的各个方面均有着更高的要求, 需要更多的投入。20世纪60年代, 美国和前苏联为了抢先踏上月球, 不惜投入巨大的财力和物力。如何结合外国登月的启示和我国航天技术取得的成就, 探讨具有我国特色的资金投入较少、技术成熟、安全可靠的登月方式, 是现阶段进行登月研究的关键。

2 国外载人登月的启示

20世纪60年代, 举世瞩目的、并将永远记入人类史册的美国阿波罗登月计划, 历时11年7个月, 实现了载人登月飞行和人类对月球的实地考察; 耗资总额253.5亿美元, 其中土星系列运载火箭和发动机的研制费为87.94亿美元, 土星V号发射及其地面设施研制费为18.1亿美元, 分别为总研制费用的41.2%和8.5%, 两项之和占总研制费49.7%, 比阿波罗飞船研制费用(69.39亿美元)

约高出20%。阿波罗计划耗资之大, 主要原因是土星族运载火箭是专门为阿波罗计划研制的。这种高110.6 m(含飞船25.6 m)、直径10.1 m、推力34 500 kN的重型火箭随着登月计划的结束便宣告退役了。

与阿波罗计划同期的前苏联的不成功登月计划, 是靠“N-1”重型运载火箭实施的, 该火箭高113 m, 底部直径17 m, 第一级使用了30台发动机, 总推力45 000 kN, 1969年至1972年, 连续4次发射均告失败, 登月计划被迫取消。

最近, 美国诺思罗普-格鲁曼公司和波音公司联合小组公布了美国航空航天局下一代航天器“载人探索飞船”(CEV)的设计制造方案。今后几十年内, 宇航员将搭乘新的太空船重返月球和登陆火星。“载人探索飞船”不会简单地利用美国现有的航天技术成就, 而是综合开发利用结构技术、电子技术、航空电子技术、热控系统、集成系统、健康管理以及软件等各个方面的革命性技术进步。预计2020年, 美国宇航员有望乘坐新的太空船重返月球。

中国人终究也要登上月球。无论是美、苏曾经走过的道路——研制重型运载火箭, 还是美国正在

[收稿日期] 2006-05-23; **修回日期** 2006-06-15

[作者简介] 张泽明(1940-), 男, 湖南醴陵市人, 北京特种工程设计研究院研究员

研制的“载人探索飞船”，都不大适合中国国情，其科学技术之新、研制周期之长、投入经费之大，在短时期内是我综合国力难以承受的。只有继承和充分利用我国已取得的航天技术成就，采用适合我国国情的登月方式，才能较快较省地实现我国的登月目标。

3 中国航天成就铺就了登月之路

我国的载人航天计划随着“神舟”六号载人飞船的发射成功，圆满完成了第一阶段的任务，顺利地进入第二阶段。今后将要继续实现航天员出舱、太空行走和飞船与太空舱对接技术，发射有人维护的空间实验室，建立完整配套的空间工程系统，为载人航天的持续发展奠定坚实的基础。目前和今后若干年内，我国在航天技术上已经和将会取得的以下成就，将为中国的载人登月计划提供有力的技术支撑。

1) 单人和双人飞行任务的“神舟”载人飞船发射成功，在飞船的结构、热防护、回收、航天员人体医学、逃逸救生等方面取得了突出成果，为我国登月飞船提供了宝贵经验。

2) 目前已经开始预研的新型系列运载火箭，低轨道运载能力达到25 t以上，可为登月飞船的分舱段发射提供安全可靠的运载工具。

3) 拟议中的探月工程“绕、落、回”计划一旦实现，将为中国载人登月飞行的辅助探测计划、月球表面特性及软着陆地点选择提供有参考价值的技术支持。

4) 载人飞船工程的第二、第三阶段突破的载人航天基本技术：航天员出舱太空行走；飞船与空间舱交会对接；发射短期有人维护的空间实验室；建立完整配套的空间系统，等等，将为“天基发射平台”的设计奠定基础。

5) 探月工程建立的多频段大口径天线与深空探测系统可为载人登月提供借鉴。

6) 我国载人飞船工程实施过程中，大约总投资的60%转为固定资产，形成了一定水平和规模的科研、生产、试验能力，这些设施和设备有些可以继续为我国载人登月发挥作用。

7) 载人飞船工程造就了一支年轻的科技专业队伍，形成了一套有效的质量管理和项目管理制，从软件方面为载人登月创造了一定的条件。

我国航天工程以上方面的重大突破，为我国载

人登月计划的实施提供了宝贵的经验和丰富的技术储备。

4 天基发射登月方式

人类在迈向宇宙的实践活动中，逐步认识到大气层内外的环境状态和飞行原理有着本质的区别，把大气层内外区分开来研究它们各自的航行问题有很大的方便之处。大气层内的空间称之为“空”，大气层外的空间称之为“天”，遂出现了“航空”和“航天”；在大气层中的发射活动称为“空中发射”，在大气层外的发射活动称为“空间发射”或“天基发射”。目前已经实现的最简单的天基发射，是美国利用航天飞机发射高轨道卫星，航天飞机把卫星和上面级组合体投放到近地轨道（称停泊轨道）上，由地面或航天飞机控制上面级火箭点火加速，将卫星送入椭圆轨道（称过度轨道），完成发射任务。

我国采用将有的新型运载火箭和地面发射平台，完全有能力分批次将登月飞船和航天员运送到近地轨道，然后在近地轨道上进行登月飞船的组装和检测以及航天员休整，并在合适的时机进行天基发射，将登月飞船和航天员送入月球轨道；登月飞船和航天员在月球轨道上绕月飞行，并在合适的时机在月面软着陆，对月球进行考察；最后利用着陆系统的发动机从月球表面发射、推进，返回地球轨道。采用这种方式一方面在地面发射过程中实现人、物（登月飞船及设备）分离，提高了系统安全性；一方面分阶段完成登月过程，可针对各阶段有效载荷的实际情况进行调整，选择不同的运载工具，降低发射成本。

5 登月轨道

与大多数登月计划一样，基于天基发射的登月轨道大致可分为4种类型，每种类型轨道间的转移依赖不同的推进/制动过程来实现。登月过程的4种轨道类型如图1所示，包括：

1) 在地球附近的停泊轨道。

2) 从地球附近到月球附近的地月转移轨道（即奔月轨道）与相反过程的轨道（即月地转移轨道）。

3) 在月球附近的轨道（即环月轨道）。

4) 在地球上发射和在月球上着陆的轨道以及相反过程的轨道。

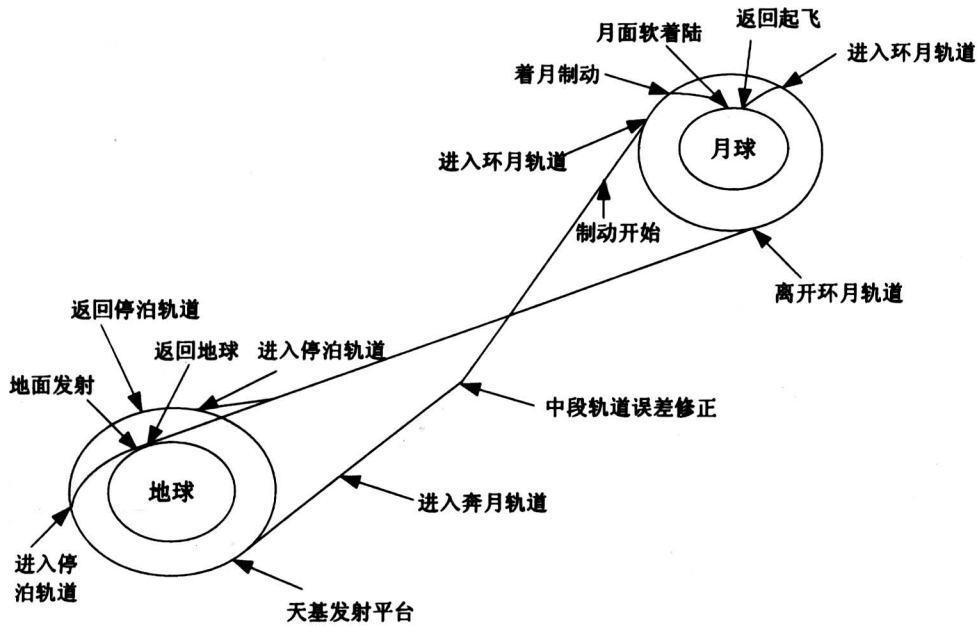


图 1 登月过程示意图

Fig.1 Lunar-landing orbit figure

6 登月各个阶段的技术途径

地面发射是各个阶段中最为成熟的发射过程。我国目前已拥有多个成熟可靠的地面发射场，多次成功地进行了卫星、飞船的发射。应用我国将有的新型运载火箭，研制适用于载人和载货的飞船，可以方便地把登月的有效载荷分批次运送到近地轨道。载货飞船的发射不必过多考虑逃逸救生和生命保障系统，其成本远低于载人飞船的发射，通过人、货分离的发射方式可以提高发射过程安全性，降低发射成本。由地面发射进入地球轨道后，地面发射的火箭搭载任务基本结束。通过逐步建立起来的天基发射平台，实现登月飞船的组装、检测、加注以及航天员休整，为实现登月飞船的奔月过程做好准备。

组装完成的登月飞船与天基平台一起在地球停泊轨道上运行，在合适的发射窗口，通过天基平台上的发射设施（天基发射）把登月飞船送入奔月轨道。当登月飞船接近环月轨道时，依靠制动发动机制动，经过几次减速，被月球俘获，进入环月轨道，成为月球卫星。

登月飞船要到达月球表面，一般采用软着陆方式。与再入大气层的航天飞行器不同的是，月面附近没有大气，无法利用大气阻力使飞船减速下降，

只能利用主动的制动发动机来减速。为寻求合适的着月点和着月时机，可以参照美国“阿波罗”飞船登月模式，从环月轨道上进行软着陆。为此，先经过下降轨道机动段，调整登月飞船姿态，并指向合适的着月点；然后利用月球引力，实现无动力下降，达到一定高度后，采用动力下降，通过制动发动机使登月航天器减速，以很低的速度到达月球表面，实现软着陆。

完成月球考察后，依靠登月航天器上的发动机助推，使其从月面上起飞，并以一定的速度进入环月轨道，然后在合适的发射窗口，登月飞船加速离开环月轨道，实现返回地球轨道的过程。

登月飞船返回地球时，可以采用让飞船再次进入停泊轨道，与天基发射平台连接，进行检测、维护和补给，进入下一次任务的待命阶段。航天员进入平台服务舱休整，然后分批次返回地面。登月飞船在地球停泊轨道上待命，可以避免穿越大气层所带来的影响，达到多次重复使用的目的，节省登月工程总费用。当然，也可设想登月飞船直接返回地面。

7 天基发射平台

7.1 天基发射平台的功能

为完成登月飞船在近地轨道上的组装与调试，

结合我国正在实施的建造有人维护的空间实验室计划,建造天基发射平台,为实施登月提供基础。天基发射平台的主要功能包括:

- 1) 完成载人登月飞船的对接与组装。
- 2) 对组装后的飞船进行检测和维护。
- 3) 给飞船加注或者补充燃料、电池充电(更换)、气瓶增压等。
- 4) 作为航天员进入飞船登月舱之前的待机地,完全具备发射条件后,航天员择机进入登月舱。
- 5) 完成飞船变轨控制,将飞船送入椭圆轨道,天基发射平台应有机动飞行的能力。
- 6) 调整飞船姿态并使飞船脱离天基发射平台,在满足安全距离条件下,飞船发动机工作,完成发射任务。

7.2 天基发射平台结构

借鉴国外空间站建设经验和我国国情,天基发射平台既要保证其基本功能,又要考虑技术和成本因素。

为实现登月飞船的对接与组装,天基发射平台首先要具备协同登月飞船自动对接的能力。在登月飞船分批次运送到天基发射平台的过程中,第一部分直接与天基发射平台连接(捕获),接下来的部分与第一部分对接。当飞船各部分对接完成后,可利用天基发射平台上的检测手段与飞船自带的检测手段对飞船进行检测维护,并进行登月飞船发射前的准备。

为使登月飞船能够顺利地由近地轨道发射进入月球轨道,合适的发射窗口和姿态起着重要的作用。有关的航天动力学研究和轨道数值计算已经得出结论,与双曲线或抛物线奔月转移轨道相比,大偏心率椭圆奔月转移轨道更节省能量。因此,除了早期的月球探测任务外,大多数月球探测器都采用了大椭圆奔月转移轨道。而采用双曲线或抛物线奔月转移轨道的探测器,一旦未能与月球交会,就会脱离地月系统,成为太阳系的人造行星,如前苏联的“月球1号”。为此,对天基发射平台提供轨道控制,实施轨道修正,确定姿态并进行姿态控制,满足有关有效载荷对月定向、测控及数传天线对地定向、太阳电池阵对日定向的要求,是非常重要的。

登月飞船从近地轨道上发射,既要考虑推进羽焰对天基发射平台的影响,也要考虑飞船发射的初始轨道参数,因此必须采用合适的结构和方法实施

登月飞船的天基发射。

综上所述,天基发射平台至少应具备:协同登月飞船各舱段进行对接的工作段;进行登月飞船检测和维修的测控段;为飞船补充燃料及气、电能源的设备;能提供轨道和姿态调整的装置;能进行登月飞船与天基发射平台分离或者会合的动力装置;提供航天员生活的服务段和进入登月舱的通道,等等。

8 实现天基发射的途径

登月飞船在天基发射平台上发射,虽遭受重力作用和大气影响较小,但由于自身质量很大,要实现从地球轨道到月球轨道的转移,需要从推进动力、轨道特性以及天基发射平台安全性等多方面加以考虑。

直接点火加速推进是目前国际上通常采用的近地轨道上的发射方式,发动机在停泊轨道上直接点火,使飞船加速脱离地球轨道,实现奔月过程。但在天基发射平台上直接点火,高温高速的发动机羽焰流场对发射平台会造成严重的冲击和烧蚀,不利于保障天基发射平台的安全性。为此,采用投放方式发射,使登月飞船与发射平台分离,在到达可保障天基发射平台安全的距离后令发动机点火,实现奔月过程,是比较有前景的一种天基发射方式。

投放发射过程的一种途径是由天基发射平台提供登月飞船足够的外力,使飞船加速并与平台脱离。在投放过程中,天基发射平台会受到较大的后坐力,使天基发射轨道发生变化,通过天基发射平台的轨道调整,可以使其返回原来轨道。目前可供选择的投放方式包括机械力弹射、电磁弹射、压缩空气弹射和燃气弹射等。由于机械力弹射和电磁弹射提供的外力有限,对投放大质量物体很少采用;又由于近地轨道的大气稀薄,难以补充压缩空气,因此采用能产生较大能量、体积小的推进剂燃烧产生燃气实现弹射过程是一种常用的投放方式。

投放发射的另一种途径是天基平台与登月飞船的连接约束释放后,飞船保持在原有轨道上运动,而天基发射平台通过自身动力段制动减速与飞船脱离,脱离距离满足安全条件后令飞船点火,进入地月转移轨道。

9 展望

利用已有的和即将取得的航天技术成就,采用

天基发射，实现中国特色的载人登月，是一条快速、经济可行的途径，与美、苏研制的重型火箭相比，登月计划至少可提前 8~10 年，投入资金也可大大减少。

采用天基发射需要研制天基发射平台，研制费用的高低主要取决于平台的功能和规模，虽然目前无法估计它的研制费用，但是可以预见到：

1) 天基发射技术充分展现了中国的综合国力和航天技术发展水平，作为拓展人类活动空间的平台，对于推进经济与社会的可持续发展，增强民族凝聚力，有着极其重大的意义。

2) 天基发射平台的建立，不仅可以为登月计划提供中转站，其设备与装置完全可以进行多学科的空间实验，实现多方面的功用，对我国空间科学

的研究将会产生长远的影响。

3) 天基发射平台也可以作为航天器的回收平台，用来在太空直接修理有故障的卫星。

4) 天基发射平台还可以为在轨的卫星补充燃料，延长卫星的使用寿命。

综上所述，天基发射技术不仅是发射登月飞船的一条重要途径，而且还具有深远的政治意义和显著的社会经济效益。载人登月不存在固定的模式，每个国家都可选择与各自国情相适应的发展目标。我国应充分利用已有的航天技术成就，在继承的基础上实现有序的创新，瞄准前沿、统筹规划、力求以较少的投入，实现具有中国特色的完全独立自主的载人登月计划。

Opinion on Space Launch and Manned Lunar-landing

Zhang Zeming¹, Jiang Yi², Fu Debin²

(1. *Beijing Special Type Engineering Design and Research Institute, Beijing 100028, China;*

2. *Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China*)

[Abstract] The lunar-landing is the continuation of manned spaceflight engineering. Comparing with the manned airship engineering, it requires more credibility and sweepingness, and it needs more funds. On the basis of China's achievements and foreign countries' experiences, the paper brings forward the idea of using the existing transportation technology to sent the launch vehicles and cosmonauts to the near-earth orbit in batches, assembling the components together on the space-launch platform, and then launching them to the moon. The paper also discusses the space-launch platform and the launching way.

[Key words] lunar-landing; space launch; launch platform; lunar-landing orbit; technical route