

# 我国载人登月技术途径探讨

◆龙乐豪

(中国运载火箭技术研究院,北京 100076)

**摘 要:**探索宇宙,登上月球,是中华民族千年梦想,“嫦娥奔月”的神话故事就是最好的证明。本文在总结国外载人登月技术的基础上,对比分析了四种载人登月方式对应的运载系统的初步方案,提出了中国载人登月并安全返回可能的技术途径。

**关键词:**载人登月;运载系统;登月方式

中图分类号:V11 文献标识码:A

## 0 引言

月球是离地球最近的星球,也是地球唯一的卫星,是人类进入深空最理想的中转站,从1959年1月至今出现过两次月球探测的高潮。1959—1976年为第一个高潮,该阶段除进行多次无人月球探测外,最具代表性的是美国人在1969年7月21日登上月球的壮举。1994年以来,美国、欧空局、日本、中国和印度先后成功发射了“克莱门汀”、“月球勘探者”、“斯马特-1”、“月亮女神”、“嫦娥-1”和“月船-1”月球探测器,对月球进行新一轮的探测。2004年1月14日,美国总统布什宣布在2020年前重返月球的构想。其后,世界其他发达国家也纷纷提出了新的月球探测计划,掀起了月球探测的第二个高潮,这一轮探测以“进一步全面、细致地研究月球,开发利用月球资源,扩展人类活动空间,以月球为中转站走向深空等”作为主要目标。

在中国漫长的五千年文明演变中孕育出许多与月亮相关的故事、传说、诗词、歌赋和学说。特别是流传千年的“嫦娥奔月”神话故事表达了中华民族对月亮的憧憬和向往。目前中国的载人航天工程和月球探测工程都在顺利进行,中国人将“嫦娥奔月”的美梦变为现实又多了一份可能。

本文在总结国外载人登月技术途径的基础上,提出了二十一世纪“嫦娥奔月”可能的技术途径,为中华民族实现千年梦想提供技术支持。

## 1 国外载人登月技术的进展

### 1.1 美国阿波罗登月计划与“土星V”运载火箭

阿波罗计划从1961年5月批准实施到1972年12月结束,共进行了七次载人登月飞行,除“阿波罗”13号外,其余6次飞行均获成功,共有12名宇航员登上月球。

在阿波罗登月计划中,阿波罗飞船主要由指令舱、服务舱、登月舱和发射脱险装置组成,总重

收稿日期:2008-11-10 修订日期:2008-11-12

作者简介:龙乐豪,1938年出生,男,湖北武汉人,研究员,中国工程院院士,国家月球探测工程副总设计师。



图1 “土星 V” 运载火箭

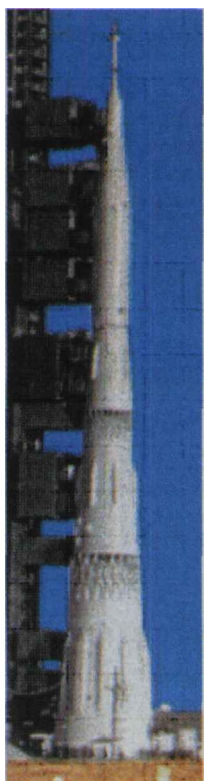


图2 “H-1” 运载火箭

约 50 吨,由“土星 V”运载火箭直接送入奔月轨道。

“土星 V”运载火箭由一子级(S-IC 级)、二子级(S-II 级)、三子级(S-IVB 级)、仪器舱、发射救生系统等组成,一子级直径 10.06 米,采用液氧、煤油推进剂,动力装置由 5 台 F-1 大推力发动机组成;二子级直径 10.06 米,采用 5 台 J-2 氢氧发动机,贮箱共底;三子级直径 6.6 米,使用一台 J-2 发动机,贮箱共底。“土星 V”火箭全长 110.6 米,起飞重量约 2950 吨,起飞推力约 3470 吨,逃逸轨道运载能力约 50 吨,近地轨道(185Km 圆轨道)运载能力为 120 吨。“土星 V”运载火箭外形示意图见图 1。

### 1.2 苏联载人登月计划与 H-1 火箭

苏联的载人登月计划也始于 20 世纪 60 年代初,登月方法与美国略有不同,设想用运载火箭将飞船直接送入环月轨道,飞船由登月舱和月球轨道舱组成,月球轨道舱由联盟飞船改装而成。该方案最后并未实现,原因是 H-1 火箭多次失败。

H-1 运载火箭为五级运载火箭(H-1 运载火箭的示意图如图 2 所示),下面三级将

载荷送入绕地球轨道,第四级是月球转移轨道助推级,第五级则用于进入月球轨道。火箭第一级为 30 台 NK-33 液体火箭发动机捆绑组成(图 3 为 H-1 运载火箭第一级的示意图),其布局为中心 6 台,周围 24 台,总推力可以达到 5091 吨,这是由于当时苏联没有解决单燃烧室大推力发动机的问题。第二到第五级分别安装 8、4、1、1 台发动机。随着发动机台数减少,火箭直径也随之减小,整个火箭呈锥形。该火箭总长 113 米,底部最大直径达 17 米左右,火箭各级均采用液氧-煤油推进剂,其低轨道运载能力约 100 吨。

出于政治竞争的需要,忽略了科学规律,致使 H-1 火箭的研制过程既短又快,加之过多的发动机并联,降低了系统的可靠性。1969 年初到 1972 年底的 4 次试飞火箭均发生了爆炸。从 H-1 火箭的研制我们至少可以得到如下的启示:数量众多的小推力发动机并联来替代单台大推力的发动机会导致火箭的可靠性严重降低,H-1 火箭的四次发射失败,问题均出在第一级就充分说明了这一点。

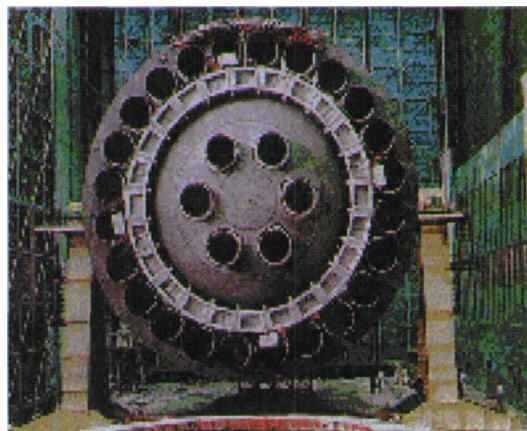


图3 “H-1”运载火箭第一级

### 1.3 航天飞机与“能源号”运载火箭

“阿波罗登月计划”结束后,美国将载人空间站计划列为重要的发展目标。他们认为必须要有一种可重复使用的航天运输系统,以大幅度降低运输费用,因此美国将发展重点转向研



图4 美国航天飞机

制航天飞机。

航天飞机由外贮箱、固体助推器/轨道飞行器等组成。轨道飞行器采用氢氧主发动机,推进剂全部贮存于外贮箱中,主发动机关机后外贮箱被抛掷,再入大气时解体并溅落于海洋中;外贮箱长47米、直径8.38米,结构质量约33.5吨,加注后的

质量约743吨;配置2个大型固体助推器,直径3.7米,单个助推器结构质量约82.9吨,加注后的质量约586吨。航天飞机起飞重约2041吨。轨道飞行器结构质量约68吨,满载质量约102吨,是航天飞机唯一能全部重复使用的组件。

至今,航天飞机共进行了113次飞行,遭受了2次重大事故。1986年1月28日“挑战者”号上升时爆炸,7名航天员全部遇难;2003年2月1日,“哥伦比亚”号再入时解体,机上的7名乘员全部遇难。加之航天飞机并没有实现其降低发射费用的初衷,也引起了各种争议,但航天飞机仍是美国和当今世界上最为先进的载人航天飞行器。

由于H-1重型运载火箭在研制过程中屡遭挫折,1974年5月,苏联停止了H-1火箭计划,并开始“能源号”火箭的方案论证工作。“能源号”

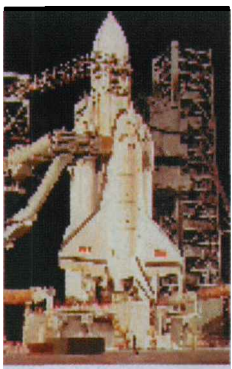


图5 能源号 / 暴风雪号

火箭由芯级、助推级与有效载荷组成,助推级由捆绑在芯级两侧的4个相同的液体火箭助推器组成,采用液氧煤油推进剂,每个助推器长32米,直径4米,质量约为375吨;芯级是苏联第一个采用液氧液氢火箭发动机的火箭级,长60米,直径8米,总质量约为

800吨;火箭全长约60米,起飞重量约2400吨,起飞推力约3500吨,能源号火箭的有效载荷大致可以分为轨道飞行器与其他载荷两大类,其运载能力(200km圆轨道)约为105吨。“能源号”火箭于1987年5月15日进行了首次发射,1988年11月15日发射了“暴风雪号”轨道飞行器,两次发射都获得了成功。

航天飞机和能源号运载火箭是目前世界上除“土星V”运载火箭外成功飞行过的重型运载器,二者近地轨道运载能力均在100吨左右,因此从运载能力看,经必要结构布局调整后并采用近地轨道交会方式,这两种重型运载器也具备实施载人登月的能力。

#### 1.4 美国重返月球计划与“Ares”运载火箭

2004年1月14日,美国总统布什宣布新的空间计划,美国探索太空的新计划要实现三个目标,其中最重要的一个目标是在2020年前重返月球,这也是更长远太空探索计划的跳板。

为了安全和增加运载能力,美国此次重返月球采用新的发射方式,融入人货分运的思想,将载人探测飞行器“猎户座”与月球登陆器先是分别发射至近地轨道,然后在太空将“猎户座”与月球登陆器和上一级奔月运载火箭“飞离地球级”通过交会对接后一同进入奔月轨道。

NASA于2006年6月30日宣布将下一代运载火箭命名为Ares。其中载人型运载火箭命名为“Ares I”将用于发射“猎户座”;货运型运载火箭为“Ares V”。

“Ares I”不仅可搭载4~6名航天员,还能运载25吨货物到近地轨道。火箭第一级使用类似于航天飞机的五段式固体火箭助推器,可回收重复使用;第二级使用为“土星V”研制的J-2液氢液氧发动机的改进型J-2X发动机。火箭顶部加装发射逃逸系统。“Ares V”主要用于承载货物执行重



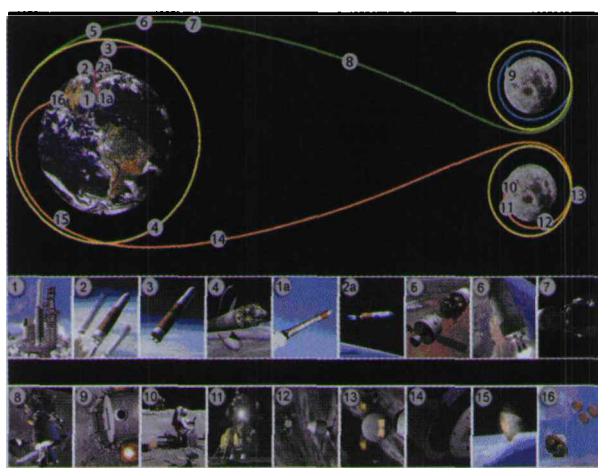


图6 美国重返月球计划设想图

(1)“Ares V”点火升空;(2)火箭助推器分离;(3)利用第一级动力飞行;(4)月球登陆器被送入地球轨道;(5a)“Ares I”发射升空;(5b)利用第二级飞行;(6)“猎户座”与月球登陆器和“飞离地球级”的组合体对接;(7)利用“飞离地球级”飞向月球;(8)“猎户座”与月球登陆器进入环月轨道;(9)宇航员离开“猎户座”,乘坐月球登陆器登陆月球;(10)在月球表面进行科学考察;(11)宇航员乘坐月球登陆器上部的飞行舱飞离月球;(12)与“猎户座”自动对接;(13)月球登陆器分离,“猎户座”飞向地球;(14)“猎户座”服务舱分离;(15)“猎户座”乘员舱再入大气层;(16)使用降落伞和气囊着陆。

返月球和未来的火星探测任务。火箭长 109 米,起飞重量 3357 吨,LEO 运载能力 130 吨。火箭采用两级结构,第一级由航天飞机外贮箱改进而来,直径 10 米,使用 5 台 RS-68 氢氧发动机(德尔它 4 火箭主发动机)提供动力,捆绑两枚可重复使用的与“Ares I”火箭第一级相同的 5 段式航天飞机固体助推器。第二级为“飞离地球级”,与“Ares I”火



图7 “Ares I”  
与“Ares V”

箭第二级相同。该火箭的运载能力超过当年发射“阿波罗”飞船的“土星 V”火箭,将成为世界上最大的航天运载器,可用于发射建立月球基地的大量设备,甚至发射火星飞船。该火箭的特点是充分利用已有的、可靠性较高的动力系统,以降低火箭研

制难度及生产成本。

### 1.5 国外载人登月的特点及启示

国外载人登月任务的特点是登月方式相对比较简单而对运载火箭的要求很高。美国阿波罗登月计划以及苏联登月计划采用的方案分别是一次性将登月有效载荷送入奔月轨道和环月轨道,美国重返月球计划采用的是近地轨道交会对接一次的方式。这些方式相对都比较简单,但是要求火箭近地轨道的运载能力在 120 吨级左右或者奔月轨道的运载能力在 50 吨级左右,一般的火箭难以完成任务,需要研制重型运载火箭。

到目前为止,世界上成功飞行过的重型运载器包括“土星 V”、航天飞机和能源号,其中的“土星 V”、航天飞机是载人运载器。这些重型运载器的研制均涉及到大推力液氧煤油发动机或氢氧发动机的研制,而苏联 H-1 火箭的研制失败也说明用数量众多的小推力发动机并联会导致系统的可靠性严重降低,因此研制与“土星 V”相当的运载火箭的基础是 500 吨级推力的液氧煤油发动机或 120 吨级推力的氢氧发动机。在运载火箭研制过程中,发动机的研制周期长、难度大。我国是一个发展中国家,财力有限,技术基础相对较薄弱,研制 500 吨级推力的液氧煤油发动机或 120 吨级推力的氢氧发动机,从技术及经济上目前还存在较大困难。因此在目前的国力条件下,美国阿波罗登月计划中采用直接进入奔月轨道的方案、苏联直接进入环月轨道的方案、美国重返月球计划采用的近地轨道对接一次的方案等似乎都不理想,中国的载人登月究竟要采用什么样的方式可能需要有自己的创新。下面对载人登月的可能方式及其对应的运载系统的方案进行比较分析。

## 2 载人登月技术途径设想

从运载系统的角度分析,实现载人登月有以

下几种途径可供选择:

(1) 直接进入方式:由运载火箭一次性将登月有效载荷送入奔月轨道或环月轨道。美国阿波罗登月计划、苏联 H-1 计划均采用此方式。

(2) 近地轨道对接方式:运载火箭分几次将轨道转移级及登月有效载荷送入近地轨道,在轨道上对接后再起飞,由轨道转移级将登月有效载荷送入奔月轨道。美国重返月球计划采用该方式,在近地轨道进行一次对接。

(3) 环月轨道对接方式:火箭分几次将登月有效载荷送入环月轨道,在环月轨道上对接后实施登月。

(4) 近地与环月轨道对接相结合的方式:火箭分几次将登月舱和轨道转移级送至近地轨道,对接后由轨道转移级将登月舱送至环月轨道;同样火箭分几次将飞船和轨道转移级送至近地轨道,对接后由轨道转移级将飞船送至环月轨道。在环月轨道飞船和登月舱对接,宇航员由飞船进入登月舱,分离出登月舱实施登月。

上述四种方式对运载系统的要求不同,但为实现载人登月的目的,要求运载系统奔月轨道的运载能力均在 50 吨级左右,对应的环月轨道的运载能力则在 30 吨级左右。

## 2.1 直接进入奔月轨道运载系统初步方案设想

美国阿波罗登月采用的方案就是此方式。飞船由指令舱、服务舱和登月舱三部分构成,由重型运载火箭将飞船一次性送入奔月轨道,然后飞船与火箭分离,飞船飞行进入环月轨道,之后分离出登月舱实施登月。参考阿波罗登月的规模,飞船的总重为 50 吨左右,因此该种方式要求运载火箭奔月轨道运载能力为 50 吨级,初步方案设想如下:

方案 A:三级半构型,芯级直径 5 米,捆绑 6 个 5 米的助推器

◆ 助推器与一子级为相同的模块,均采用 1 台 500 吨级推力液氧煤油发动机,推进剂工作量均为 300 吨;

◆ 二子级采用 4 台 120 吨级推力液氧煤油发动机(YF-100),推进剂工作量为 400 吨;

◆ 三子级采用 4 台 25 吨级推力氢氧发动机,发动机两次启动,推进剂工作量为 110 吨。

方案 B:三级半构型,芯级直径 7.5 米,捆绑 4 个 3.35 米的助推器

◆ 每个助推器采用 1 台 400 吨级推力液氧煤油发动机,推进剂工作量为 237 吨;

◆ 一子级采用 4 台 400 吨级推力液氧煤油发动机,推进剂工作量为 1106 吨;

◆ 二子级采用 5 台 50 吨级推力氢氧发动机(YF-77),推进剂工作量为 220 吨;

◆ 三子级采用 4 台 25 吨级推力氢氧发动机,发动机两次启动,推进剂工作量为 110 吨。

方案 C:两级半构型,芯级直径 8.5 米,捆绑 4 个 5 米的助推器

◆ 每个助推器采用 2 台 400 吨级推力液氧煤油发动机,推进剂工作量为 490 吨;

◆ 一子级采用 4 台 120 吨级推力的氢氧发动机,推进剂工作量为 700 吨;

◆ 二子级采用 4 台 25 吨级推力氢氧发动机,发动机两次启动,推进剂工作量为 130 吨。

方案 D:三级构型,一子级直径 10.0 米,二、三子级直径 7.5 米

◆ 一子级采用 7 台 500 吨级推力液氧煤油发动机,推进剂工作量为 2190 吨;

◆ 二子级采用 5 台 50 吨级推力氢氧发动机(YF-77),推进剂工作量为 360 吨;

◆ 三子级采用 4 台 25 吨级推力氢氧发动机,发动机两次启动,推进剂工作量为 110 吨。

上述四种方案均能满足奔月轨道 50 吨的运

载能力的要求,其中方案A长细比较大,方案B、C、D均可作为备选方案,但是无论何种方案均需新研制单台推力在400~500吨级的液氧煤油发动机或者120吨级推力的氢氧发动机。

## 2.2 近地轨道对接运载系统初步方案设想

由运载火箭分几次将轨道转移级及登月有效载荷送入近地轨道,在轨道上对接后起飞由轨道转移级将登月有效载荷送入奔月轨道。如果采用常规推进剂作为轨道转移级的燃料,比冲按300秒计算,按进入奔月轨道的关机重量为65吨(其中包括有效载荷约50吨、轨道转移级结构质量15吨)计算,从200km的圆形停泊轨道加速到奔月轨道所需速度增量约为3200米/秒,按理想变轨假设则可以得出火箭从200km圆形停泊轨道起飞时的重量应为193吨。

正在研制的CZ-5E低轨道运载能力为32吨,那么至少需要进行7次发射和空间组合装配,才能达到上述指标来完成载人登月任务。如此多的发射和空间装配必然带来更多的技术复杂性和操作困难,需要研制更大运载能力的运载火箭,在继承CZ-5火箭5米直径箭体和发动机技术的基础上,近地轨道运载能力约50吨的两级半构型的火箭方案如下:

■ 助推器采用CZ-5的4个3.35米直径模块,两台120吨推力液氧煤油发动机;

■ 芯一级采用5米直径,四台120吨推力液氧煤油发动机;

■ 芯二级采用5米直径,两台50吨推力氢氧发动机。

可以考虑分四次将轨道转移级和登月有效载荷送入近地轨道,进行三次对接后再实施登月。该方式火箭的继承性较好,但是百吨级轨道转移级在轨组装技术需要深入研究。

如果要进一步减少发射和对接次数,则需考

虑研制低轨道运载能力在百吨级左右的重型火箭。初步方案如下:

◆ 助推器与一子级为相同的模块,均采用5米直径和1台500吨推力液氧煤油发动机,推进剂工作量均为310吨;配置6个助推器,助推器不分离,与芯一级一起分离;

◆ 二子级采用5米直径和4台120吨推力液氧煤油发动机,推进剂工作量为370吨。

将轨道转移级分成一大一小两级,轨道转移级一级、登月有效载荷和轨道转移级二级的组合体分别由重型运载火箭送入近地轨道。该方式需要两次发射,一次对接,对运载火箭的运载能力要求并不低,与直接进入奔月轨道方案相比优势不大。

## 2.3 环月轨道对接运载系统初步方案设想

为满足载人登月的需要,登月有效载荷进入环月轨道的重量为30吨级。运载系统可分三次将登月有效载荷送入环月轨道,在环月轨道进行两次对接后登月,则要求运载系统环月轨道运载能力为10吨。

登月飞船由登月舱、服务舱和返回舱三部分构成。根据初步分析,登月舱的规模大致在15吨级左右,其中上升级5吨左右,下降级10吨左右;服务舱5吨左右,维持返回舱在环月轨道上运行,携带登月所需的部分仪器设备;返回舱10吨左右,含返回时需要的5吨左右的推进剂。因此可以考虑将服务舱与登月舱上升级作为一个整体发射,将登月舱下降级和返回舱(从地面发射时宇航员在返回舱内)分别发射一次,这样分三次可将飞船发射至环月轨道。

在环月轨道上先由登月舱上升级和下降级对接,然后再与返回舱对接,一旦交会对接不成功,宇航员可乘坐返回舱返回地球,如果交会对接成功,宇航员过渡到登月舱,登月舱分离出来着陆月

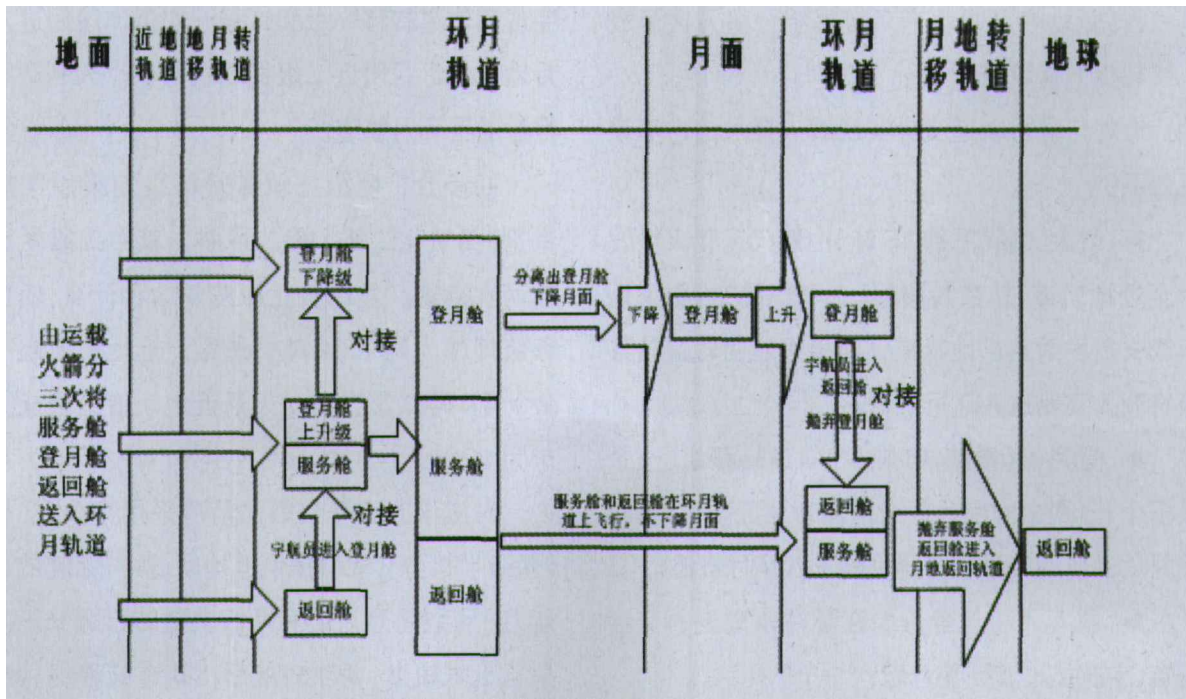


图8 环月轨道交会载人登月飞行流程图

面,服务舱和返回舱留在环月轨道上飞行,宇航员乘坐登月舱着陆月面,在月面考察完毕后乘坐登月舱的上升级在月面起飞至环月轨道与服务舱和返回舱会合,对接后宇航员进入返回舱,之后分离出返回舱,由返回舱自身提供推进剂将其送入月地转移轨道,之后再入大气层返回地面。图8为环月轨道交会载人登月飞行流程图。

运载系统包括基础级火箭+上面级,基础级火箭负责将上面级和有效载荷送入奔月轨道,上面级负责将有效载荷从奔月轨道送入环月轨道。

基础级火箭继承 CZ-5 火箭 5 米直径技术和发动机技术,构型为带助推的三级火箭:

- 助推器采用 CZ-5 的 6 个 3.35 米直径模块,两台 120 吨推力液氧煤油发动机;
- 芯一级采用 5 米直径,四台 120 吨推力液氧煤油发动机;
- 芯二级采用 5 米直径,两台 50 吨推力氢氧发动机;
- 芯三级直径 5 米,采用改进的 CZ-3A 三级子级发动机 YF-75D(双机)。

基础级火箭全长约 77 米,起飞重量约 1500 吨,起飞推力 1958 吨,该构型火箭奔月轨道运载能力为 19 吨。上面级采用常规推进剂(比冲按 300 秒考虑),则环月轨道运载能力不低于 12 吨(上面级停火点质量 1.5 吨),低轨道运载能力约 50 吨,可以满足分 2~3 次将 24~36 吨级的登月有效载荷送入环月轨道的要求。环月轨道交会基础级火箭外形图见图 9。

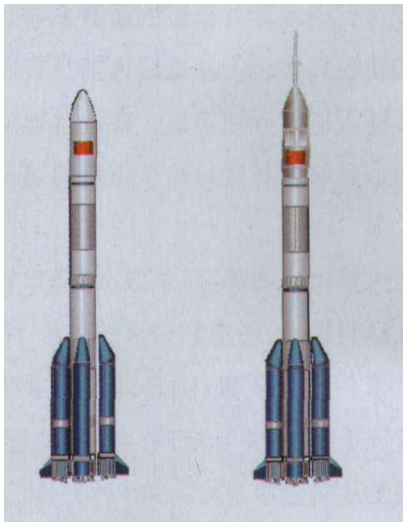


图9 环月轨道基础级火箭外形示意图(载货状态、载人状态)

## 2.4 近地和环月轨道对接相结合的方式运载系统初步方案设想

近地与环月轨道交会实现载人登月的方案设想如下:

► 载人飞船(重约 15 吨)由载人运载火箭发射至近地轨道,轨道转移级(一个或多个)由大型运载火箭发射至近地轨道,对接好后由轨道转移级将载人飞船送入环月轨道;

► 登月舱(重约 15 吨)和轨道转移级(一个或多个)分别由大型运载火箭发射至近地轨道,对接好后由轨道转移级将登月舱送入环月轨道;

► 载人飞船与登月舱在环月轨道进行交会对接,宇航员过渡到登月舱;

► 登月舱与飞船分离,宇航员乘登月舱着月,完成任务后乘登月舱升级从月面起飞至环月轨道;

► 登月舱与在环月轨道等待的载人飞船对接,宇航员过渡到载人飞船;

► 载人飞船与登月舱分离,载人飞船返回地球。

由于载人飞船与登月舱重量相当,这里只考虑将登月舱(15 吨)送入环月轨道的运载系统方案。将登月舱送入环月轨道的运载系统包括基础级火箭和轨道转移级,基础级火箭负责将登月舱及轨道转移级送入近地轨道,在近地轨道组装完成后,轨道转移级将登月舱从近地轨道送入环月轨道。

利用火箭轨道转移级(单级)将登月舱从近地轨道送入环月轨道,考虑到登月舱重约 15 吨以及轨道转移级停火点质量(约 5 吨),轨道转移级近地轨道起飞重量约 71~83 吨(含 15 吨登月舱,轨道转移级发动机比冲 300~340 秒),轨道转移级规模在 56~68 吨级。为了减少近地轨道交会对接的次数,轨道转移级采用两级方案,近地轨道组装

完成后轨道转移一级和二级一次工作段后进入奔月轨道,近月附近二级发动机再次点火制动将登月舱送至环月轨道。

初步分析两级型轨道转移级均采用常规推进剂(四氧化二氮/偏二甲肼),其中二级发动机需两次启动。发动机比冲按 303 秒计算,轨道转移级规模为两个 32 吨的子级,近地轨道起飞重量为 79 吨。该方案对火箭近地轨道运载能力要求为 32 吨。

对应该方案基础级火箭可采用 CZ-5E 构型(两级半构型),能够提供近地轨道约 32 吨的运载能力。可以将登月舱和两级轨道转移级分三次发射至近地轨道,两次对接后由轨道转移级将登月舱送至环月轨道。同样将飞船和两级轨道转移级分三次发射至近地轨道,进行两次对接后由轨道转移级将飞船送至环月轨道。然后在环月轨道上飞船和登月舱对接。因此该方案共需要六次发射五次对接,其中近地轨道对接四次,环月轨道对接一次。

如果采用 3.2 中近地轨道运载能力约 50 吨的两级半构型的运载火箭,则需要四次发射,近地轨道两次对接,环月轨道一次对接。

## 2.5 四种途径比较

四种登月途径各有优劣,应根据国情选定。其综合比较见表 1:

## 3 我国载人登月规划设想

基于上述分析,现役和在研制的长征火箭都无力承担载人登月任务,而对 CZ-5 火箭进行改进设计,并采用交会对接技术,实现载人登月是一条相对可行的方案。结合我国国情,设想分两阶段实施:

第一阶段利用 CZ-5 的技术基础,采用环月轨道对接的飞行方案,尽早实现短期载人登



表 1 载人登月四种方式对比

	火箭规模	继承性	可靠性	总体评价
直接进入方式	重型( $G_0\approx 3000t$ ) 奔月轨道运载能力 50t	较差(分别研制 500t、120t 级推力液氧煤油、氢氧发动机)	高(一次发射,无对接)	火箭研制难度较大,但简单、可靠,可作备选方式。
近地轨道对接方式	大型( $G_0\approx 1200t$ ) 近地轨道运载能力 50t	较好(充分继承 CZ-5 火箭 5m 直径箭体和发动机技术,研制轨道转移级)	较低(四次发射,三次对接)	火箭继承性较好,需研制轨道转移级并攻克百吨级轨道转移级在轨组装难题。(A)
	重型( $G_0\approx 2900t$ ) 近地轨道运载能力 100t	较差(研制 500t 级推力液氧煤油发动机、轨道转移级)	较高(两次发射、一次对接)	与直接进入方式相比无优势。
环月轨道对接方式	大型( $G_0\approx 1500t$ ) 环月轨道运载能力 12t	较好(充分继承 CZ-5 火箭 5m 直径箭体和发动机技术)	较高(2~3 次发射,1~2 次对接)	火箭继承性较好,发射和对接次数较少,现实可行。
近地与环月轨道对接结合	大型( $G_0\approx 850t$ ) 近地轨道运载能力 32t	好(利用 CZ-5E 构型,研制轨道转移级)	最低(六次发射、五次对接,发射操作周期长)	火箭继承性好,但发射和对接次数过多,资源消耗过大。
	大型( $G_0\approx 1200t$ ) 近地轨道运载能力 50t	较好(充分继承 CZ-5 火箭 5m 直径箭体和发动机技术,研制轨道转移级)	较低(四次发射,两次近地轨道对接,一次环月轨道对接)	同(A),另有环月轨道对接的问题。

月探测。

第二阶段扩大载人登月规模,研制重型运载火箭采用直接进入方式或近地轨道对接的方式,实现建成“有人居住月球实验基地”的目标。

在第一阶段中,选用环月轨道对接方案的好处在于该阶段的载人登月工程也可以分步实施,可以考虑这一阶段的载人登月任务分三步走:

► 第一步,利用现有的空间实验室的规模,将 10 吨级左右的空间实验室发射至环月轨道上,可以对环月轨道运载火箭进行检验,还可以利用空间实验室开展对月球更为全面的探测工作;

► 第二步,是不载人登月。分两次发射返回舱和登月探测器至环月轨道并进行对接,探测器着陆月面采样后在月面起飞返回至环月轨道与返回舱对接,依靠返回舱返回地面。该阶段既可以模拟登月的全过程,又能与探月工程三期“自动采样返回”的任务相结合;

► 第三步,实施载人登月。这样对整个载人登月工程而言,可以降低难度分步实施,另外

采用环月轨道交会对接的方案,可以充分利用 CZ-5 系列的 5 米直径箭体结构和 YF-100、YF-77、YF-75D 发动机技术,上面级也可继承在研的先进上面级的成果。从技术继承性和经济性来看,该方案相对重型火箭的方案都有优势,可以较快地实现载人登月任务,当然需要对环月轨道交会对接对运载火箭发射窗口的影响进行深入研究。

这种方案的发射实流程相对简单:当登月飞船总重为 $\geq 30t$ 级时,则需要三次发射。在海南文昌航天发射场建两个发射工位的条件下,前两次发射可在同一天进行,第三次(载人)发射可在 14 天后实施,这样就可与前两次发射到环月轨道上的航天器实现共面交会对接,整个载人登月任务可在 20 天左右完成;如果登月飞船总重量在 25t 以内,则只要两次发射即可,整个流程可缩短到 10 天左右。但当采用近地轨道交会对接时,整个发射实施流程将长达两个月左右。

第二阶段的进程取决于月球实验基地的规模。如要求不高,则可利用第一阶段的运载方

案,采用积木式构建方案,建成小型有人居住月球实验基地。如要建成规模较大的月球基地,则需要研制重型运载火箭。需要指出的是,重型运载火箭是实现快捷、安全载人登月和载人火星探测的必要条件,应对其重大关键技术项目(如500t级推力液氧烃类发动机、120t级推力氢氧发动机、8~10m直径火箭箭体结构等)及早安排预研。

#### 4 结束语

探索宇宙,登上月球,是中华民族亘古的遐想。随着神舟飞船成功上天,嫦娥1号升空,中华民族流传千年的神话“嫦娥奔月”离变为现实又进了一大步。我们认为,在CZ-5基础

上发展起飞重量千吨级的三级半大型火箭、采用环月轨道交会对接方式,是符合我国国情的载人登月方案。在国家统筹规划下,可望在2025年实现中国人安全地登上月球并返回地球的梦想。■

#### ●参考文献

- [1] 佟艳春. 美国重返月球计划. 导弹与航天运载技术, 2006, 282 (2): 27-31。
- [2] 马建光,李伯仲,钟华 编译. 载人登月飞行.国防科技参考,1995, 16(3): 87-105。
- [3] 夏劲. 阿波罗登月计划的制定与实施及其启示.科技进步与对策,1996, 13(4): 58-60
- [4] 龙乐豪, 容易. 现代“嫦娥奔月”的技术途径设想. 2008,293(1): 1-7
- [5] 龙乐豪. 我们如何往返月球. 中国航天科技集团公司科技委年会报告. 2006.6.29

## Discussion of the Technical Route for China Manned Lunar-landing

Long Lehao

(China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China)

**Abstract:** To explore the universe, especially the lunar-landing, is the Chinese nation's Millennium dream, as showed in an ancient Chinese fairy tale of Chang'e ascended to the moon. In this paper four kinds of delivery systems applied to the corresponding lunar-landing programs are analyzed, on the basis of foreign countries' experiences. The possible technical route for China manned lunar-landing is put forward.

**Key words:** manned lunar landing; delivery system; lunar-landing program