

火星使命“福布斯-土壤”/“萤火”一号分析(续)

朱仁璋^{1,2} 王鸿芳^{1,3} 泉浩芳² 赵 刚¹

(1 南京大学 2 北京航空航天大学 3 中国空间技术研究院)

摘 要 俄罗斯“福布斯-土壤”使命将于 2011 年发射,这是俄罗斯自 1996 年“火星-96”发射失败以来的第一个火星探测项目。这项火星使命的主要目的是采集火星卫星火卫一的土壤样品并返回地球进行分析,同时对火卫一与火星及火星环境进行科学探测。“福布斯-土壤”使命将搭载 3 项火星探测项目,即中国“萤火”一号探测器、美国“微生物行星际飞行生存能力实验”(LIFE)和芬兰火星“气象网”(MetNet)先遣使命。本文分析苏/俄火星探测历史,阐述“福布斯-土壤”及其搭载项目的系统构型,科学目标与有效载荷,以及飞行运作程序。首创的火星卫星探测方法与广泛的火星探测国际合作是“福布斯-土壤”使命的两大特点。

关键词 “福布斯-土壤”使命 “萤火”一号探测器 火星 火卫一 空间探测

分类号 V476.4 **文献标识码** A **文章编号** 1674-5825 (2010) 03-0001-08

(续 2010 第 2 期)

4.3 火星气象网先遣使命^[24,41-44]

火星“气象网”(MetNet)是由芬兰气象研究所启动并确定的用于探测火星大气环境的科学使命,自 2001 年起进行研制。该使命将向火星表面发送几十个 MetNet 着陆器(MNL),目的是在火星表面建立广泛分布的观测网,对火星大气结构,物理性质及气象状态进行调查研究。

4.3.1 使命概念与科学目标

特定的气象与一般的气候在时间和空间都是变化的,这个事实意味着监测气象与气候的最有效的方式是在多重位置与足够长时间进行同步测量。为此, MetNet 包括一个全局范围多点分布的表面探测器网,并以在轨配套卫星予以补充,计划进行为期 2 个火星年的观测。要获得一幅很好的火星全局气象图,至少需要 10 到 20 个探测器观测站点。

为了验证在火星表面全局布网(多个 MetNet 着陆器)观测火星大气的理念,芬兰气象局研制了“火星气象网先遣使命”(MPPM),计划先发射 1-2 个 MetNet 着陆器到火星表面。MPPM 将作为搭载项目,

随“福布斯-土壤”于 2011 年发射,更多的着陆器将在其后的发射窗口布放,一直延续至 2019 年。MPPM 执行技术与科学演示(验证)任务:(1)验证用于“气象网”使命的着陆器概念的可行性。(2)演示新的、高分辨率大气垂直结构以及长时期(一个火星年量级)在 1-2 个着陆点进行实地气象与图像观测的有效性。

4.3.2 微型着陆器与飞程序

MetNet 着陆器(MNL)将应用可膨胀的进入与降落系统,代替刚性热罩与降落伞系统。据分析,可膨胀系统可使更多的质量和容积资源分配给科学有效载荷,且可提高 EDL(进入,降落与着陆)的可靠性。

MNL 主要由 3 部分组成(图 20-22)^[44]:(1)主可膨胀制动单元(MIBU),外径 1.0 m,外表面用热防护烧蚀材料覆盖,起热罩作用。(2)辅助可膨胀制动单元(AIBU),展开后呈“花托”(torus)型,外径为 2.0 m。(3)穿透体,高度为 87 cm,上面的大气探测杆(Met-Boom)长约 100 cm。MNL 所携带的科学仪器主要有:(1)大气仪器组件(压力仪器,湿度仪器,加速度计,温度传感器)。(2)光学设备(全景相机,太阳辐射

来稿日期:2010-05-23;修回日期:2010-06-03。

作者简介:朱仁璋(1941.11-),男,博士,教授,主要从事航天技术与教学工作。

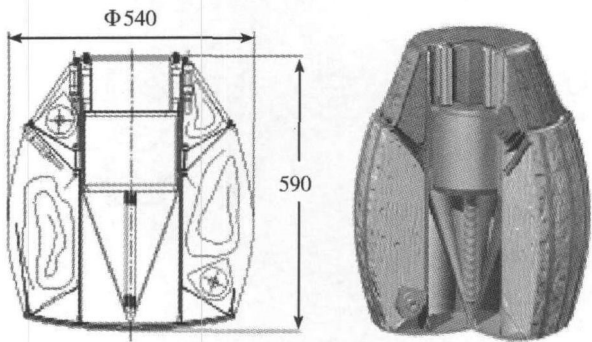


图 20 MetNet 飞行器载运状态构型

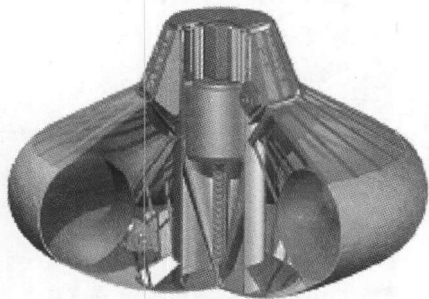


图 21 MetNet 飞行器主可膨胀制动单元展开后的构型
(进入构型)

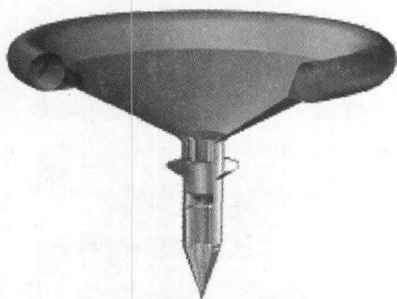


图 22 MetNet 着陆器辅助可膨胀制动单元展开后(MIBU 已抛离)的“花托”构型(降落构型)

传感器,尘埃传感器)。(3)组成与结构设备(磁强计,加速度计)。

在“福布斯-土壤”飞行器进入火星轨道之前,MNL 将被分离出,直接进入火星大气。MNL 的大气下降过程可划分为两个阶段(图 23):(1)主气动力减速阶段,即应用 MIBU 减速。(2)辅助气动力减速,即应用 AIBU 减速。在第一阶段,MNL 应用 MIBU 从大气进入时刻的高超声速(马赫数 $M \approx 2.9$)减至 AIBU 展开可接受的速度(马赫数 $M \approx 0.8$)。在这一阶段,最大纵轴向过载不超过 29 g,最大动压为 4301 N/m^2 。在第二阶段,MNL 将应用 AIBU 在大气中降落。在 AIBU 充气膨胀过程中,MIBU 被抛离。在降落阶段,MNL 速度减至着陆速度 ($44.6 \text{ m/s} \sim 57.6 \text{ m/s}$)。



图 23 MetNet 飞行器的进入,降落与着陆程序

5 “福布斯-土壤”飞行运作程序^[3,21-24, 31,45,46]

5.1 全程飞行运作程序

搭载“萤火”一号的“福布斯-土壤”飞行运作程序,基于原“福布斯-土壤”程序(参见图 24),主要节点如下(参见图 25):(1)运载火箭发射,并进入绕地球运转的停泊轨道。(2)主推进系统(MPS)点火,由停泊轨道导入过渡轨道。(3)在过渡轨道上,可脱落燃料箱分离。(4)主推进系统(MPS)再次点火,由过渡轨道进入地球-火星转移轨道(巡航段)。(5)在巡航段飞行期间,火星气象站(MMS)从飞行器分离,飞向火星表面着陆。(6)在巡航段进行 3 次轨道修正。(7)飞行系统减速,由地球-火星转移轨道(巡航段)进入轨道周期为 3 天的椭圆形中间轨道。(8)在中间轨道上,MPS 及“萤火”一号探测器与飞行器着陆系统分离。(9)“萤火”一号在中间轨道上运行,太阳能电池阵展开,执行空间探测任务。(10)着陆系统减速,由中间轨道进入圆形观测轨道。(11)由观测轨道进入准同步轨道。(12)在火卫一表面着陆。(13)在火卫一表面进行土壤采样。(14)返回飞行器分离并从火卫一表面起飞,经 2 次轨道机动进入绕火星运行的基底轨道(火星停泊轨道)。(15)在基底轨道加速,进入朝向地球飞行的逃逸轨道。(16)在火星-地球转移轨道飞行期间进行多次轨道修正,到达地球轨道。(17)降落舱(回收容器)从返回飞行器分离,进入地球大气,降落并着陆。

5.2 从发射至进入行星际轨道飞行

图 26 表示“福布斯-土壤”飞行器从发射至进入行星际轨道(地球-火星转移轨道)的一种飞行方案。

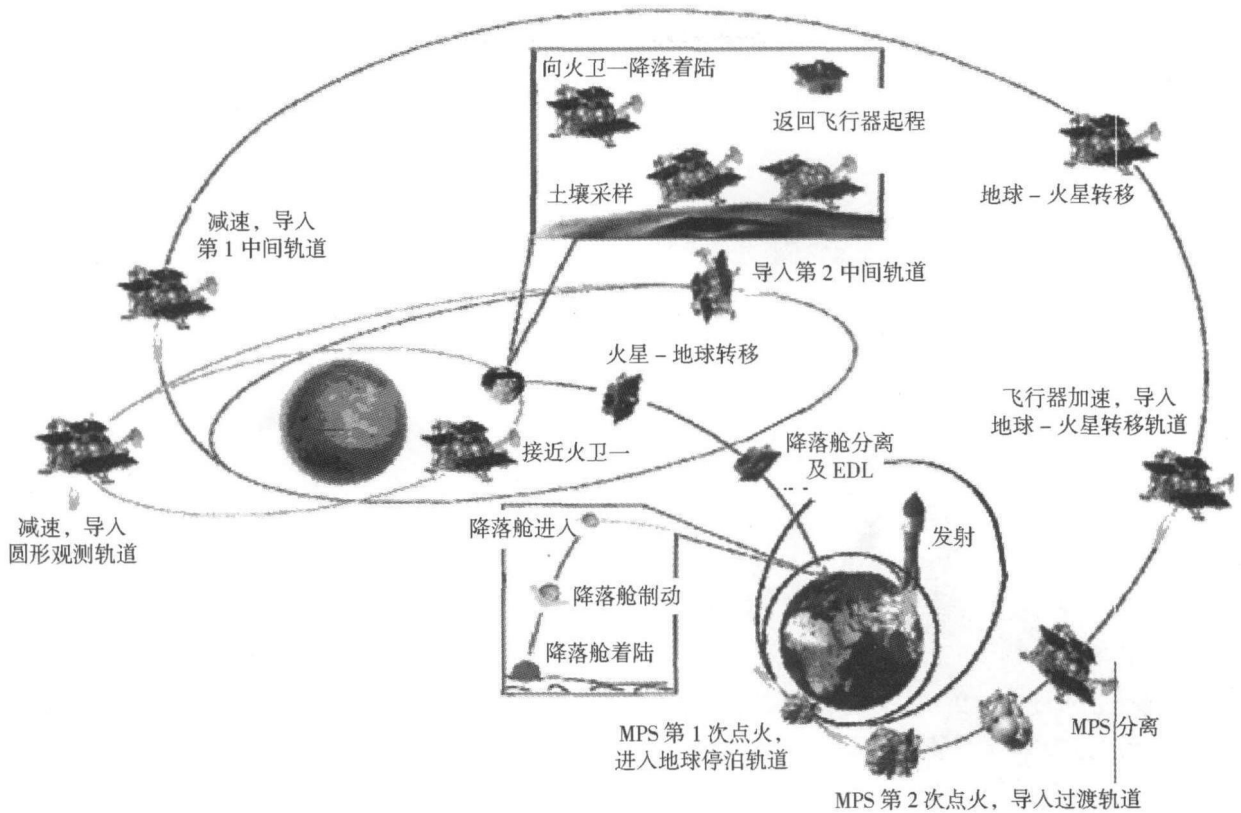
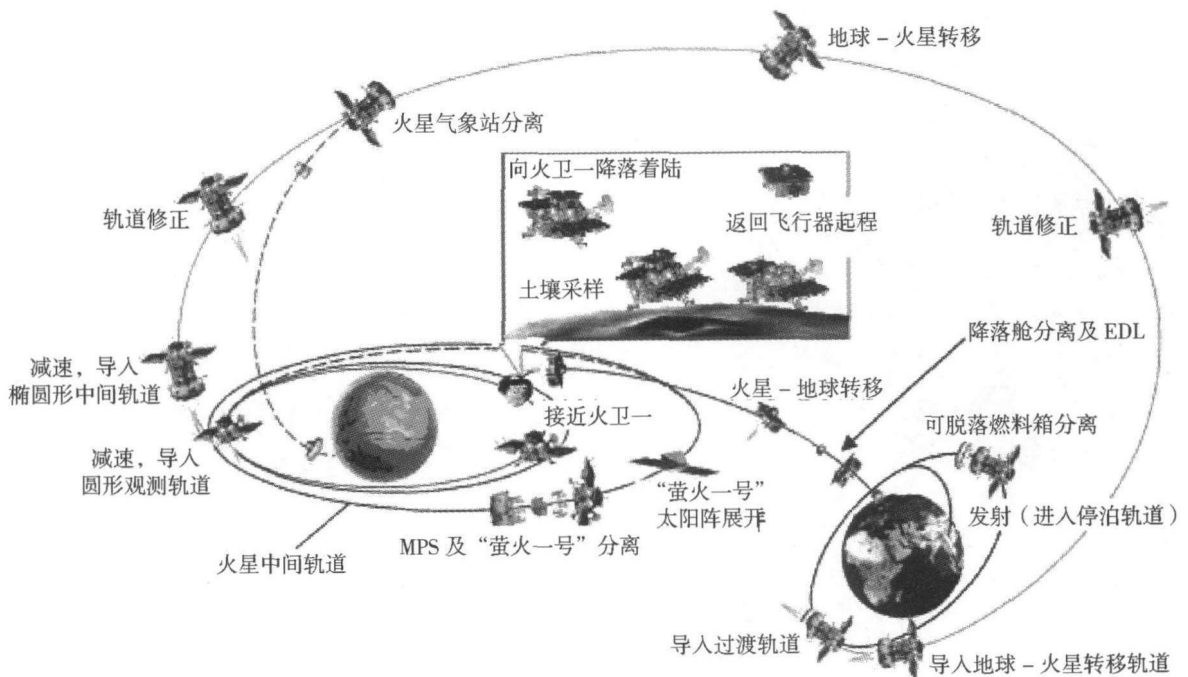


图 24 原“福布斯-土壤”(不含“萤火”一号)飞行程序



注:接近火星-1,即从观测轨道进入准同步轨道。

图 25 搭载“萤火”一号的“福布斯-土壤”飞行程序

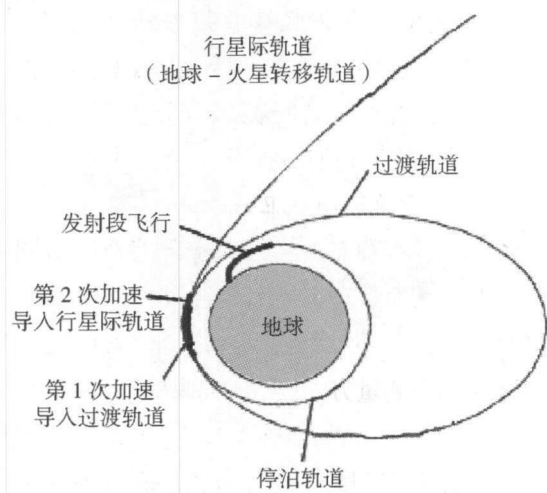


图 26 “福布斯-土壤”飞行器从发射至进入行星际轨道 (地心惯性坐标系)

在图 26 的方案中, 飞行器在发射段终点直接进入 200 km 停泊轨道。在圆形停泊轨道上飞行 4 h(2.8 圈), 主推进系统(MPS)点火, 飞行器加速, 进入过渡轨道。过渡轨道近地点高 200 km, 远地点高 11100 km, 轨道周期为 3.65 h。飞行器在椭圆形转移轨道上飞行 26 h(7 圈)后, MPS 再次启动, 飞行器进入飞离地球的双曲线轨道, 即地球-火星转移轨道。这就是在图 25 中搭载“萤火”一号的“福布斯-土壤”飞行器脱离地球轨道的飞行方案, 而图 24 的飞行方案有所不同。

图 27 表示“福布斯-土壤”飞行器的地球-火星转移轨道。在转移飞行期间, 飞行器经历 3 次轨道修正。进入火星引力作用范围后, 通过制动, 向人造火星卫星轨道转移。地球-火星转移轨道基本参数如下: 渐近地球逃逸速度约为 3.3 km/s, 渐近地球逃逸速度矢量对地球赤道的倾角约为 20°, 渐近火星交会

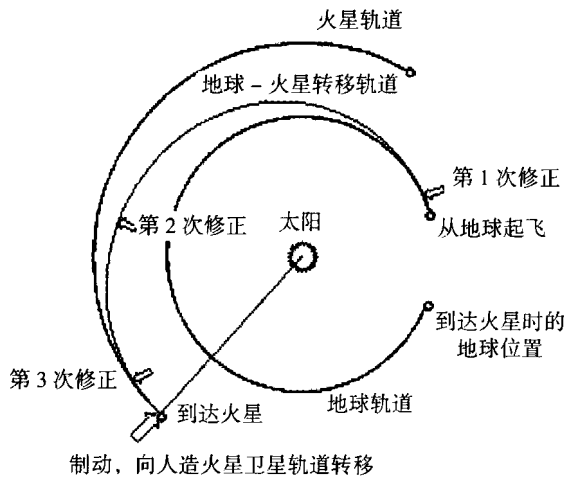
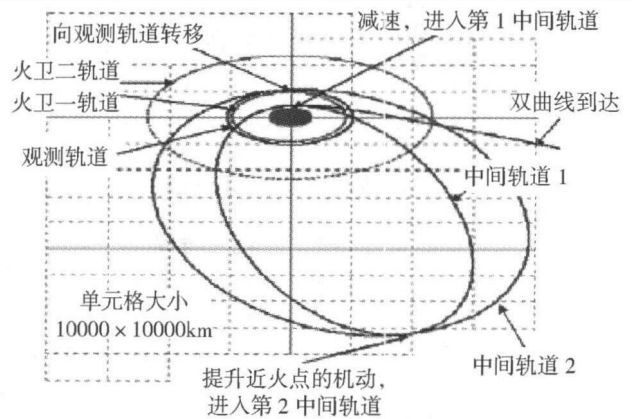


图 27 “福布斯-土壤”飞行器的地球-火星转移轨道

速度约为 2.5 km/s, 渐近火星交会速度矢量对火星赤道的倾角为 0°~5°, 掠飞双曲线离火星最近点高度约为 700 km~1000 km, 从地球停泊轨道离开的总再助推速度约 3.745 km/s。

5.3 从行星际轨道进入火星观测轨道

图 28 表示“福布斯-土壤”飞行器行星际轨道至火星观测轨道的一种飞行方案。在图 28 的方案中, 飞行器由相对火星的双曲线轨道 (即日心椭圆轨道) 经 2 条椭圆形中间轨道转移进入观测轨道。这就是图 24 所示情况。在图 25 搭载“萤火”一号的“福布斯-土壤”飞行方案中, 只有一条椭圆形中间轨道; 该中间轨道近火点高度约 800 km, 远火点高度约 80000 km, 轨道周期约为 3d。飞行器在中间轨道上绕火星飞行 3 圈后, 主推进系统被抛掉, “萤火”一号从飞行器分离, 太阳电池阵展开, 开始在轨测试与空间探测运作。当火星运转到太阳与“萤火”一号探测器连线的中间时, 太阳光将被火星遮挡, “萤火”一号将经历 7 个长达 8.8 小时的阴影期。“萤火”一号分离后, “福布斯-土壤”着陆系统将在中间轨道运行一段时间后转移进入圆形观测轨道。



注: 中间轨道 1: 近火点高度 800 km, 远火点高度 79 000 km, 轨道周期 3 d。
中间轨道 2: 近火点高度 9 910 km, 远火点高度 79 000 km, 轨道周期 3.3 d。
观测轨道: 圆轨道, 半径 9910 km(比火星一轨道高 500 km), 轨道周期 8.3 h。

图 28 原“福布斯-土壤”飞行器由行星际轨道至观测轨道的飞行方案(火星惯性坐标系)

5.4 从火星观测轨道至火卫一着陆

5.4.1 从观测轨道进入准同步轨道

图 29 表示从火星观测轨道进入接近火卫一的准同步轨道, 该图为“福布斯-土壤”着陆器相对火卫

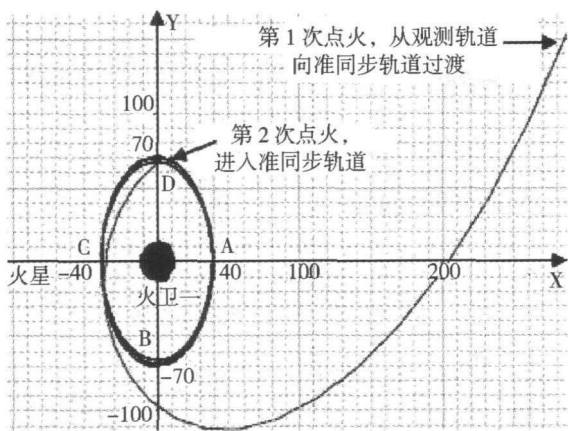


图 29 “福布斯-土壤”着陆系统从观测轨道进入准同步轨道的运动轨迹(x 轴为火星至火卫一的指向)

一的运动轨迹, 图中 X 轴为火星质心指向火卫一的方向。图 30 表示在准同步轨道上运行的“福布斯-土壤”着陆器与火卫一、火星及太阳之间的方位关系。

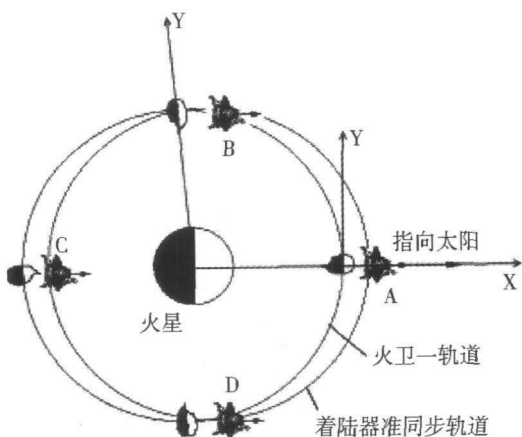


图 30 “福布斯-土壤”着陆系统的准同步轨道

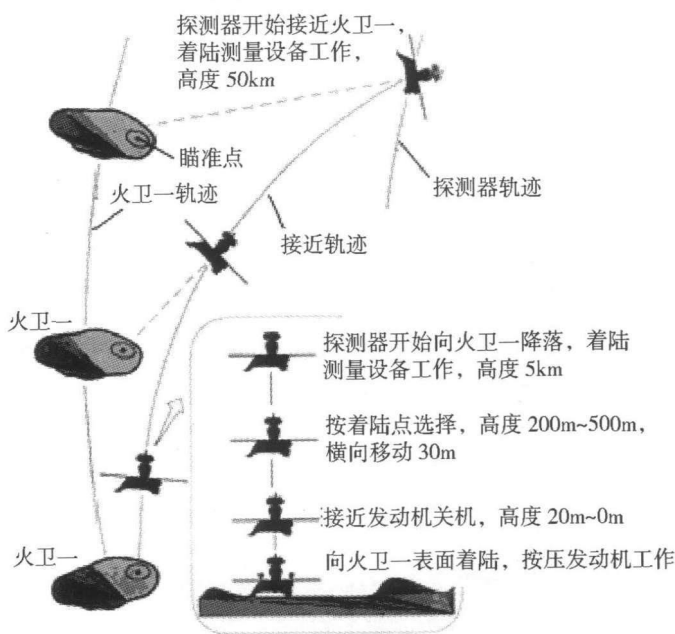
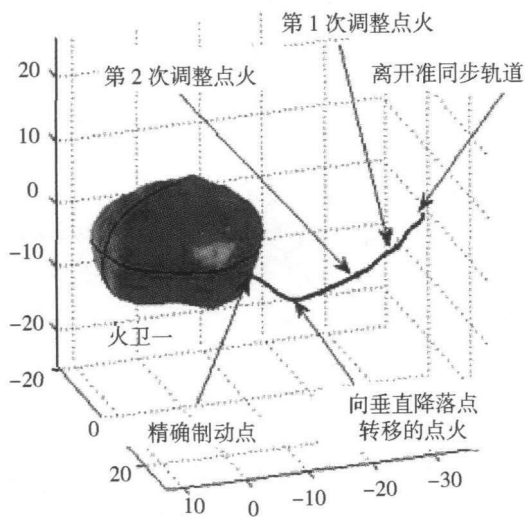


图 31 “福布斯-土壤”着陆器向火卫一表面着陆过程

“福布斯-土壤”着陆系统准同步轨道的特点是:
(1)准同步轨道的设计使探测器总是在日照条件下观测火卫一;(2)由于火卫一总是以固定一面朝向火星, 因此探测器可沿轨道面对火卫一各个侧面进行观测。

5.4.2 从准同步轨道向火卫一着陆

图 31 表示“福布斯-土壤”着陆器离开准同步轨道向火卫一表面接近与着陆的过程。

(1)火卫一着陆测量。在火卫一着陆过程中用于运动控制的测量方案包括: ①捷联式惯性导航系统; ②星际追踪; ③激光测高仪; ④多普勒测量仪器 (用于测量速度矢量和距离地表上方的高度及正下方地表的法向); ⑤电视系统。

(2)火卫一着陆条件。在火卫一表面着陆的主要条件为: ①在距着陆点上空 40 km~60 km 区域内福布斯-土壤探测器的转移; ②着陆过程中光照条件的要求 ($20^\circ < \text{太阳及探测器分别与火卫一之间连线的夹角} < 70^\circ$); ③来自地面跟踪站的无线电可视条件的满足; ④在福布斯-土壤探测器与火卫一分离的时刻预报其相对运动 (要求在每个位置的预报误差小于 3 km, 每个速度的预报误差小于 1 m/s); ⑤在与准同步轨道分离前对着陆器系统运行能力检测的可能性; ⑥获得着陆区域图像的可能性。

(3)火卫一着陆运作。在火卫一表面着陆所需进行的主要运作包括: ①选择满足着陆条件的准同步轨道; ②计算从观测轨道到所选择的准同步轨道的转移机动; ③从观测轨道向准同步轨道转移; ④从

准同步轨道获得激光测高仪的测量值；⑤着陆点测高法分析；⑥确定离轨时刻轨道，并预报状态矢量（误差范围：位置 $\pm 3\text{ km}$ ，速度 $\pm 0.5\text{ m/s}$ ）；⑦计算准同步轨道离轨机动；⑧从准同步轨道离轨并着陆。

5.4.3 火卫一表面运作

“福布斯-土壤”探测器在着陆火卫一后，将立即装载一份火卫一土壤样品到返回飞行器。一旦任务控制通信系统发生故障，探测器将自动进入应急模式，仍能收集火卫一土壤样品并装入返回飞行器。正常的土样采集过程将持续两天到一周的时间。

着陆系统将持续在火星表面运作几个月。所携带的机械臂将更多的土壤样品收集进一个舱室内并加热土壤，经高温分解后产生的混合气体在色谱仪中可分离出不同的组分，通过光谱学分析可识别气体成分中的化学组成，测定碳、氢、氧元素的同位素组分。这种分析有可能确定像水这样易蒸发物质的存在性。

5.5 返回飞行器离开火卫一与降落舱落地

“福布斯-土壤”着陆系统在火卫一表面完成土壤取样任务后，返回飞行器（含降落舱）与转移舱分离，并从火卫一表面起飞返回地球。图 32 表示“福布斯-土壤”返回飞行器从火卫一起飞进入火星停泊轨道（基底轨道）的过程。接着，返回飞行器将从停泊轨道加速进入火星-地球转移轨道，飞向地球（图 33）。进入地球轨道后，降落舱将从返回飞行器分离，进入

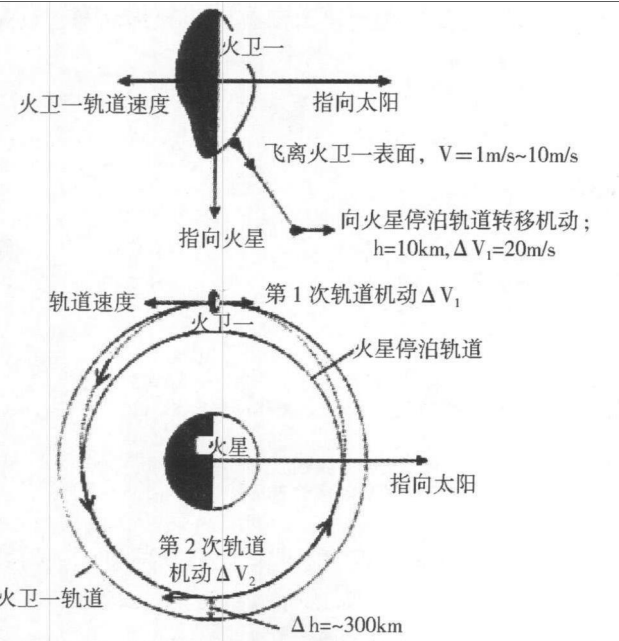


图 32 “福布斯-土壤”返回飞行器从火卫一起飞进入火星停泊轨道的飞行轨迹

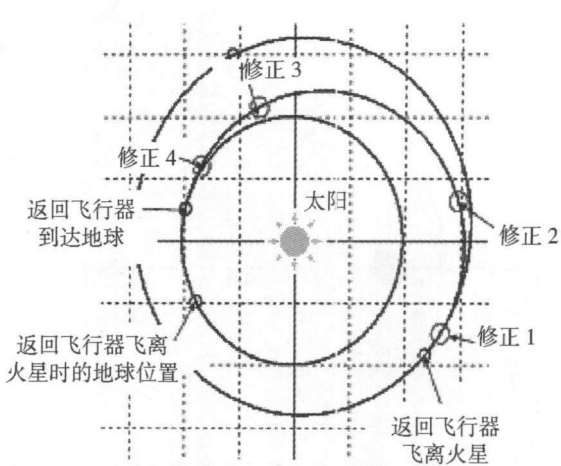


图 33 “福布斯-土壤”返回飞行器火星-地球转移轨道

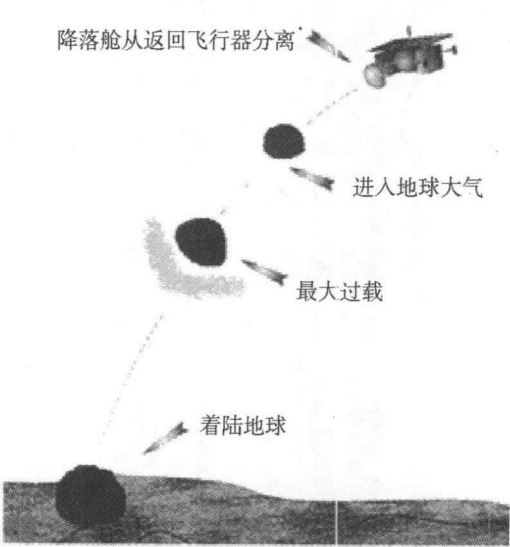


图 34 “福布斯-土壤”返回飞行器降落舱的大气进入，降落与着陆(EDL)

地球大气，经气动制动，着陆地面（图 34）。由火星向地球返回的基本轨道参数如下：渐近火星逃逸速度约为 2.7 km/s ，渐近地球交会速度约为 4.0 km/s ，渐近地球交会速度矢量相对地球赤道的倾角为 $0^\circ \sim 16^\circ$ ，进入地球大气的绝对速度约为 11.8 km/s 。

5.6 飞行时间序列(案例)^[49]

“福布斯-土壤”使命的发射窗口为 2011.10.30-2011.11.21。表 7 以 2011.11.08 发射为例，列出主要飞行节点时间。

6 结束语

由于火星探测的技术难度，加之苏/俄社会与经济因素对本国空间探测事业的影响，从 20 世纪 60 年代至 90 年代，苏/俄火星探测规划实施遭遇重大挫折。然而，计划于明年发射的“福布斯-土壤”使命

表 7 “福布斯-土壤”使命飞行时间(案例)
(发射窗口:2011.10.30 - 2011.11.21)

序号	阶段名称	时间(案例)
1	“福布斯-土壤”/“萤火”一号组合系统起飞	2011.11.08
2	组合系统进入中间轨道转移	2012.09.10
3	主推进系统抛离;“萤火”一号分离	2012.09.19-20
4	着陆系统由中间轨道导入观测轨道	2013.01
5	着陆系统由观测轨道导入准同步轨道	2013.02.08
6	着陆系统离开准同步轨道,在火卫一着陆	2013.02.14
7	返回飞行器分离,并从火卫一起飞,向火星停泊轨道转移	待定(取决于在火卫一表面的运作时间)
8	返回飞行器脱离火星轨道,飞向地球	2013.09.03-23
9	返回飞行器到达地球轨道;降落舱分离,进入地球大气,着陆	2014.08

充分显示出俄罗斯在空间探测事业中的勇气、智慧、创新及国际合作精神。首创的火星卫星探测方法与广泛的火星探测国际合作是“福布斯-土壤”使命的特点。

“福布斯-土壤”使命是人类第一次实地勘查另一个行星(火星)的卫星(火卫一),并采集土壤样品返回地球,进行地面实验室水平的分析研究。在“福布斯-土壤”使命设计中,俄罗斯利用了 20 世纪 80 年代“福布斯 1”,“福布斯 2”与 90 年代“火星-96”的遗产以及早先的月球取样返回技术。相比之下,虽然美国在火星表面使命中取得很大的成功,但火星取样返回使命可能到 2018 年发射(当然,火星取样返回的难度更大)。“福布斯-土壤”探测项目是对火星探测的重要补充,将扩展与深化人类对火星系统的认知。

“福布斯-土壤”使命已成为一个以俄罗斯为主体的国际合作项目,其中搭载项目“萤火”一号将使中国在最短的时间内进入火星探测领域;美国的“微生物行星际飞行生存能力实验”(LIFE)将直接演示微生物对长时间星际飞行的耐受力,对行星际生命转移假说的研究做出贡献;以芬兰为主体的火星“气象网”(MetNet)先遣使命不仅验证小型飞行器的可膨胀制动装置着陆技术,而且将开启火星表面全局探测的布点使命。“福布斯-土壤”为火星探测的国际合作搭建了一个新的平台。

现在人们正密切关注俄罗斯“福布斯-土壤”与中国“萤火”一号等搭载项目的进展,热切期盼在 2011“火星发射年”启程的“福布斯-土壤”/“萤火”一号将带给人们更丰厚的科学回报。 ◇

参 考 文 献

[1] 朱仁璋,王鸿芳,泉浩芳,陈晓锦,赵刚. 美国火星表面探测使命述评[J]. 航天器工程,2010 年第 2 期,第 3 期.

[2] Wikipedia. Exploration of Mars [EB/OL]. [2010-03-31]. http://en.wikipedia.org/wiki/Exploration_of_Mars

[3] CNES. Phobos-Grunt [EB/OL]. [2010-03-31]. <http://smssc.cnes.fr/PHOBOS/index.htm>

[4] Murray J. B., Illife J. C. New evidence on the origin of Phobos' parallel grooves from HRSC Mars Express [C]. Lunar and Planetary Science XXXVII (2006)

[5] Williams D. R. Mars Fact Sheet [EB/OL]. [2010-03-31]. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/marsfact.html>

[6] Wikipedia. Earth's atmosphere [EB/OL]. [2010-03-31]. http://www.fact-index.com/e/ea/earth_s_atmosphere.html

[7] François Forget, François Costard and Philippe Lognonné. The Moons of Mars: Captured asteroids Planet Mars - Story of Another World [M], 45-47. ISBN: 978-0-387-48925-4

[8] Williams D. R. Planetary Fact Sheet - Metric [EB/OL]. [2010-03-31]. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/index.html>

[9] Masson Philippe. The History of Mars Exploration [C]. 1st Mars Express Science Conference, ESTCE, February 21-25, 2005

[10] Harvey Brian. Russian planetary exploration: history, development, legacy, prospects [M]. Jointly published with Praxis Publishing, UK, 2007, XXII, 354 p., Softcover. ISBN: 978-0-387-

- 46343-8
- [11] Wade Mark. Fobos 1F [EB/OL]. [2010-03-31]. <http://www.as-tronautix.com/craft/fobos1f.htm>
- [12] Harvey Brian. Phobos, Crisis and Decline. Russian Planetary Exploration History, Development, Legacy, Prospects [M], 239-289, 2007. ISBN :978-0-387-46343-8 (Print) 978-0-387-49664-1 (Online)
- [13] Krebs G. D. Fobos 1, 2 [EB/OL]. [2010-03-31]. http://space.skyrocket.de/index_frame.htm?http://space.skyrocket.de/doc_sdat/fobos-1.htm
- [14] Mission and spacecraft library JPL. Phobos 1,2 [EB/OL]. [2010-03-31]. <http://msl.jpl.nasa.gov/QuickLooks/phobosQL.html>
- [15] Ball, Andrew J., Price, Michael E., Walker, Roger J. (2009). Mars Phobos and Deimos Survey (M-PADS)—A Martian Moons Orbiter and Phobos Lander. Advances in Space Research, 43(1), pp. 120 - 127
- [16] Wikipedia. Phobos Program [EB/OL]. [2010-03-31]. http://en.wikipedia.org/wiki/Phobos_program.
- [17] Wikipedia. Mars -96 [EB/OL]. [2010-03-31]. http://en.wikipedia.org/wiki/Mars_96
- [18] IKI. Mars-96 [EB/OL]. [2010-03-31]. http://www.iki.rssi.ru/mars96/01_mars_e.htm
- [19] Goebel Greg. Missions to Mars [EB/OL]. [2010-03-31]. http://www.vectorsite.net/tampl_07.html
- [20] Harri A.-M., R. Pellinen. MetNet Atmospheric science network for Mars [R]. Sputnik 50-year Jubilee, Moscow, Oct-2007
- [21] Lavochkin Association. ПРОЕКТ " ФОБОС - ГРУНТ " [R]. http://www.congrex.nl/09m01/papers/08_Zha-karov.pdf
- [22] Lavochkin Association. Phobos Sample Return Project [R] http://www.iki.rssi.ru/oct4/2007/ppt/02_01_A_Zakharov.pdf
- [23] James Oberg. Fobos -Grunt sample return: Perspectives and Prospects [R]. www.jamesoberg.com. February 5, 2009
- [24] Phobos-Grunt(Фобос-Грунт).http://missoesamarte.no.sapo.pt/Principal/navespac/phobos_grunt.htm
- [25] IKI. Заголовок слайда отсутствует (Phobos - Grunt.ppt). [EB/OL]. [2010-03-31]. <http://www.iki.rssi.ru/ppt/hend2002/zakharov.ppt#292,4,Selected mission>
- [26] Mullen Leslie. New Missions Target Mars Moon Phobos [EB/OL]. [2010-03-31]. <http://www.space.com/scienceastronomy/090430-mars-phobos-missions.html>
- [27] Запуск станции "Фобос-Грунт" к спутнику Марса отложен до 2011 года [EB/OL]. [2010-03-31]. <http://www.rian.ru/science/20090921/185905786.html>
- [28] Mars Daily Staff Writers. Russia delays Mars probe launch until 2011: report [EB/OL]. [2010-03-31]. http://www.marsdaily.com/reports/Russia_delays_Mars_probe_launch_until_2012_report_999.html
- [29] Russia to Delay Martian Moon Mission [EB/OL]. [2010-03-31]. <http://spectrum.ieee.org/aerospace/space-fli-ght/russia-to-delay-martian-moon-mission>
- [30] Phobos-Grunt. <http://www.reference.com/browse/wiki/Phobos-Grunt>
- [31] Wiki: Phobos-Grunt [EB/OL]. [2010-03-31]. <http://wapedia.mobi/en/Phobos-Grunt>
- [32] 中俄将联合探测火星[J]. 中国航天, 2007 年 第 4 期
- [33] 陈昌亚, 方宝东, 曹志宇等. YH-1 火星探测器设计及研制进展[J]. 上海航天, 2009 年 第 3 期
- [34] 陈昌亚, 侯建文, 朱光武. 萤火一号探测器的关键技术与设计特点[J]. 空间科学学报, 2009, 29 (5)
- [35] 吴季, 朱光武, 赵华等. 萤火一号火星探测计划的科学目标[J]. 空间科学学报, 2009, 29 (5)
- [36] 孙越强, 杜起飞, 朱光武等. 中俄联合火星电离层星-星掩星探测[J]. 空间科学学报, 2009, 29 (5)
- [37] 王劲东, 赵华, 周斌等. 火星空间环境磁场探测研究——“萤火一号”磁强计的研制与应用[J]. 物理 38 卷, (2009 年) 11 期
- [38] Wiki. Chinese Mars Exploration Program. [EB/OL]. [2010-03-31]. http://en.wikipedia.org/wiki/Yinghuo_1
- [39] Raymond F., Tomas S. Phobos-Life: Preliminary Experiment Design [EB/OL]. [2010-03-31]. <http://www.lpi.usra.edu/meetings/phobosdeimos2007/pdf/7040.pdf>
- [40] David W, Neva C. Living Interplanetary Flight Experiment (LIFE): An experiment on the survivability of microorganisms during interplanetary transfer.
- [41] Wiki. MetNet [EB/OL]. [2010-03-31]. <http://wapedia.mobi/en/MetNet>
- [42] FMI. MetNet [EB/OL]. [2010-03-31]. <http://metnet.fmi.fi/sivu=gallery>
- [43] Garrido J. MMPM -Mars MetNet Precursor Mission [EB/OL]. [2010-03-31]. <http://missoesamarte.no.sapo.pt/Principal/navespac/MMPM/MMPM.htm>
- [44] Harri A.-M., Makkonen P. MetNet - the Next Generation Lander for Martian Atmospheric Science. http://metnet.fmi.fi/intranet/MetNet/public/IAC-2003_paper.pdf
- [45] Akim E. L., Zaslavsky G. S. Primeval Substance Delivery from Phobos to the Earth - The Phobos - Soil Project: Ballistics, Navigation, and Flight Control [J]. ISSN 0038-0946, Solar System Research, 2010, Vol.44, No.4, pp. 26-37
- [46] Аким Э.Л. Работы по проекту «Фобос-Грунт» [R]. Доклад на мемориальном заседании, посвященном памяти Д.Е. Охотимского. <http://www.keldysh.ru/section5/presentations/PhobRep-2010>

(下转第 13 页)

着新材料新技术的发展, 我们还需要针对未来航天技术应用开展更多的研究工作, 来实现在未来空间环境应用的隔热技术。◇

参 考 文 献

- [1] 陈景山等. 航天服工程. 北京: 国防工业出版社, 2003.10.
- [2] 李潭秋. “飞天”舱外航天服的研制. 载人航天. 2008.4.
- [3] Pablo de León, Mark Williamson, Shan de Silva and Jennifer Untener, Gary L. Harris, The Development of a Planetary Suit Concept Demonstrator by the North Dakota Space Grant Consortium, 36th ICES Conference, SAE paper #2006-01-2233, July 2006.
- [4] Joseph J. Kosmo, Design Considerations for Future Planetary Space Suits, 20th ICES Conference, SAE paper #901428, July 1990.
- [5] Edward W. Hodgson Jr. and Tracy L. Guyer, An Advanced EVA System for Planetary Exploration, 28th ICES Conference, SAE paper #981630, July 1998.
- [6] Edward Hodgson, Allison Bender, Joel Goldfarb, etc. Chameleon Suit - A Different Paradigm for Future EVA Systems, 33rd ICES Conference, SAE paper #2003-01-2445, July 2003.
- [7] Edward Hodgson, Allison Bender, Joel Goldfarb, etc. Chameleon Suit - From Potential to Reality, 34th ICES Conference, SAE paper #2004-01-2293, July 2004.
- [8] Luis A. Trevino, Evelyn S. Orndoff, Henry H. Tang, etc., Aerogel-Based Insulation for Advanced Space Suit, 32nd ICES Conference, SAE paper #2002-01-2316, July 2002.
- [9] Henry H. Tang, Evelyn S. Orndoff, Luis A. Trevino, Mechanical Properties and Durability Study of Aerogel-Base Thermal Insulation for Advanced Space Suit, 33rd ICES Conference, SAE paper #2003-01-2446, July 2003.

Technology of Passive Thermal Control for EVA Spacesuit

YANG Donghui LI Zhi LIU Hongjing

(China Astronaut Research and Training Center)

Abstract: Passive thermal control system is critical to the function of EVA spacesuit in space environment. This paper describes the development of the passive thermal control system for EVA spacesuit. It is mainly about design requirement, protective materials, insulation structure and test verification. The future demand of the technology for the advanced planetary EVA space suit is presented.

Keywords: EVA Spacesuit; Passive Thermal Control; Protective Material; Multi-layer Insulation Structure

(上接第 9 页)

Analyses on the Mars Mission Fobos-Soil / Yinghuo-1

ZHU Renzhang^{1,2} WANG Hongfang^{1,3} QUAN Haofang² ZHAO Gang¹

(1 Nanjing University 2 Beijing University of Aeronautics and Astronautics 3 China Academy of Space Technology)

Abstract: The Russian Fobos-Soil mission will be launched in 2011, and will be the first Mars exploration project since Mars-96 that failed in launch in November 1996. The mission goals are Phobos regolith sample return and Mars system (Phobos, Mars, and Martian environment) science exploration. And there are three Mars projects piggyback on the Fobos-Soil mission: the Chinese Yinghuo-1 (Firefly-1) orbiter, the Living Interplanetary Flight Experiment (LIFE), and the Mars MetNet Precursor Mission (MPPM). In this paper, the Soviet / Russian Mars exploration history is investigated; the flight system, scientific objectives and payloads, and the flight operation procedures of the Fobos-Soil mission are expounded. An original approach to Mars and Phobos exploration and a wide international cooperation are leading features of the mission.

Key words: Fobos-Soil mission; Yinghuo-1 probe; Mars; Phobos; Space Exploration