

火星生命探测的未竟之旅

吴汉基 蒋远大 张志远 王鲁峰

(中国科学院空间科学与应用研究中心)

摘 要 本文扼要回顾了迄今为止火星探测计划和已发射的火星探测器,着重从探测火星主要是寻找生命这一核心主题,介绍进行火星探测的科学目的、生命探测方法、所用的仪器设备和取得的主要探测结果,同时略述下一步火星生命探测用的新仪器—尤利生命探测器。

关键词 火星探测 探测器 生命检测 天体生物学

分类号 V423.6 **文献标识码** A **文章编号** 1674-5825 (2009) 04-0001-06

1 引言

半个多世纪以来,空间科技和深空探测的发展进一步表明,在太阳系的各大行星中,唯有火星是最“类地”的行星。既然火星“类地”,而地球上的最大特征就是有生命,而且已存在亿万年。那么,作为地球邻居的火星是不是过去和现在也都有生命?这是地球人很自然的联想,也是长期以来希望和急切要解开的迷团。随着航天科技的飞速发展和人类对地球无节制的索取造成自身生存环境的急剧恶化,地球人不得不为自己的生存和持续发展开拓新的疆域。从而导致十多年来火星探测由涟漪发展成波浪直至汇成今日之潮流,也使火星探测成为“生命探测”之旅。

2 近半世纪的火星探测历程

自 1960 年到现在将近 50 年,不少国家曾计划对火星进行探测,还安排了一系列的探测任务。然而,由于各种原因,不少计划发生了变化,有的任务取消了,有的合并了,有的内容改变了等等。因此,到 2008 年底,共计发射 38 次/39 个火星探测器^[1]。其中,前苏联是最早(1960 年)发射火星探测器的国家,共发射了 18 次,其中 14 次失败,成功率约为 22.2%;美国紧跟其后,1964 年首次发射,之后共发

射 18 次/19 个探测器,失败 5 次/6 个探测器,成功率达 72.2%,约为前苏联的三倍。日本则于 1998 年首次发射“希望号(Nozomi)”火星探测轨道器,可惜因轨道控制问题失败了;欧空局 2003 年发射“火星直达快车”探测器(包括轨道器和猎兔犬 2 号登陆器),进行首次火星探测,但只有轨道器成功地环绕火星飞行,而登陆器丢失了。火星探测器任务总的成功率(包括部分成功)为 $18/39 \approx 46\%$,不到 50%,如图 1 所示(图中分数的分子表示成功数;分母表示探测器数),可见其难度及风险。所以,在航天界,有人把火星称为“航天器的墓地”。从已发射的火星探测器来看,它们可分属“飞越”,“轨道器”,“登陆器”和

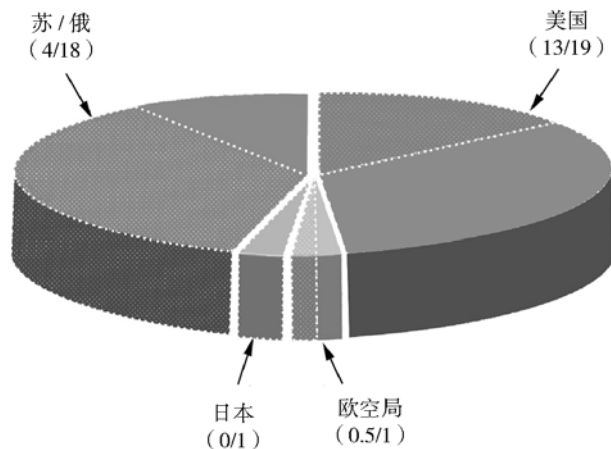


图 1 1960-2008 火星探测器发射概况图

来稿日期:2009-10-15

作者简介:吴汉基(1938.09-),男,大学,研究员,近年主要从事空间生命科学实验技术与装置的研究。

“漫游者”等类型(见表 1)。火星探测已经从无人探测,进展到机器人探测阶段,跨过了“越”,“绕”,“落”三大步。

表 1 1960-2008 年发射的火星探测器

	飞越	轨道器	登陆器	轨道/ 登陆器	登陆/ 漫游器	合计
苏联	8	4	2	4		18
美国	5	6	3	2	3	19
日本		1				1
欧空局				1		1
合计	13	11	5	7	3	39

3 寻找生命是探测火星的首要科学目的

与近地航天任务具有鲜明、现实的国家利益(为政治、经济或军事服务)目标不同,太阳系以及太阳系外的宇宙观测和探测主要是以科学目的来驱动或牵引的。只不过不同的任务,其具体的科学目标不同而已。

众所周知,地球上的生物已经存在亿万年,并进化和发展到具有高度文明的现代人类。尽管地球生命的起源仍然是一个未解之谜,但它是迄今为止所知道的宇宙中唯一具有生命的星球。难道在茫茫无际的宇宙中,有生命的星球就只有地球?地球人长期幻想的“外星人”就真的没有?人们不相信,也不甘心接受这一事实。到现在,地球人已经探测了太阳系内的 8 大行星及其部分卫星,还探测了部分彗星和小行星。结果表明,水星离太阳最近,酷热难忍,不会有生命;金星被浓密的二氧化碳气体所覆盖,表面温度高达约 500°,不可能有水。月球干燥荒芜,有人说它是个“死”天体(最近有报道其南极可能有水);虽然木卫二和土卫六等卫星的表面或冰冻的表层下可能有水或液态物质,可能有低级生命存在;但只有火星更“似”地球,它具有生命所需要的所有因素,包括大气、极帽和大量的地下冰水,气候有季节变化,有风、云、雾、霜和雪,更可能存在生命。因此,弄清楚火星过去、现在或者将来是否是一个有生命的,或是可宜居的地方?既是天体生物学(Astrobiology)研究的重要内容,也是探测火星的主要科学目的。

然而,美国于 1975 年先后发射并于 1976 年 7-9 月成功登陆火星北部地区的海盗 1、2 号火星探测

器,它们中的三个生物实验虽然发现了火星土壤中意想不到的化学活性,但是没有发现在着陆点附近土壤中存在微生物的证据。登陆器上的气体层析/质谱仪在着陆点也没有找到有机化合物的迹象。对海盗号生物学实验返回的数据进行多年仔细研究之后,大多数科学家认为,火星表面目前不可能存在任何生命,更不会有火星智能生物。此后,火星探测一度沉寂。

1996 年 8 月,美国宇航局资助的一组科学家宣布,他们利用先进的高分辨率扫描电子显微镜和激光质谱仪(以前的研究没有这些先进设备),对落于地球南极洲的被认为是来自火星的陨石(一块重约 2kg、编号为 ALH84001 的火星陨石)进行分析,检测出多轮芬芳烃(PAHs)有机分子,这表明远古时代的火星可能有生命。这一发现重新激发了人们开展行星探测和寻找地外生命的兴趣。不久,NASA 发布了 1996-2005 的十年火星探测计划-“MSP(Mars Surveyor Program)”^[2]。该计划主要针对三个研究领域:即寻找火星过去和现在生命的证据;了解火星的气候,为地球未来气候变化的研究提供借鉴;了解火星的地质情况和有可能用来支持未来载人火星飞行的资源。新的火星探测计划的主体就是找水,因为水是生命的关键需求,也是气候和重要资源的驱动器。根据地球“那里有水那里就有生命”的经验,为了揭开火星在过去和现在是否存在过生命或将来能否存在生命,提出了一个称作“跟踪水(Follow the Water)”的探测战略。从此,NASA 确定了美国火星探测的四项科学目的^[3]:(1)确定火星是否存在生命;(2)探明目前火星的气候情况;(3)查清楚火星的地质状况;(4)为载人火星探测做准备。

由此可见,探测火星,其首要目的是寻找生命。1996 年底,美国宇航局“火星全球探测器”、“火星探路者”和俄罗斯的“火星 96”的发射,标志着国际上一个新的火星探测时代的开始,也是美国雄心勃勃的十年火星探测计划(即“火星生命计划”,每隔 26 个月发射 1—2 个不载人火星探测器,以便最终确定火星上是否存在生命)的开始。

在“MSP”执行过程中,2002-2003 年,NASA 的火星科学计划综合组又组织各方面的专家学者编制了“2009-2020 年火星探测战略(Mars Exploration Strategy-MES)”报告。在长达 26 页的报告中^[4],清楚

地写明, 该战略的最终目的是通过轨道机器人和火星表面机器人的探测任务, 寻找生物活动的证据, 而且强调, 在这 10 年的火星探测中, 科学优先目标是天体生物学; 并重申: 在火星探测计划的四个顶级科学目的(生命, 气候, 地质学和为载人探测做准备)中, 第一位的是寻找生命。

4 火星生命的探测方法与途径

4.1 以地球上的生命作为探测的出发点和依据

要探测生命, 首先就要弄清这个“生命”是什么“东西”? 它有什么样的形态和特征? 或者它像什么? 目前, 只知道地球上生命, 因此, 地球人寻找火星生命很自然地会以地球上的生命作“标准”, 作为探测的出发点和依据。

尽管关于地球生命起源问题, 尚存在“自生说(内源说)”和“外源说(宇宙胚种说)”之争, 现代科学认为, 生命的诞生是物质不断运动变化的结果^[9]。这一变化分为两个阶段, 一是在生命系统诞生之前的“化学进化”阶段, 它为生命的诞生准备有机材料。

二是生命诞生之后, 经历了由低级到高级、由简单到复杂的漫长“生物进化”过程, 如图 2 所示。从图可见, 地球上的生命, 不同的阶段、不同的时期, 生命的形态和特征是不同的; 即使是同一时期, 由于所处的环境和条件不同, 生命的形式和种类也是五花八门、千差万别、多种多样的。

4.2 火星生命的探测途径

人类探测火星的生命实际上是探测火星上是否存在像地球一样的生命。因此, 它的探测方法是沿着地球生命进化的逆过程进行的, 即先从宏观的高等生命入手, 到微观的、低等生命(微生物), 再找有机和无机分子, 到构建生命的元素。它的探测的途径则是根据地球生命现在及过去存在的环境和条件进行的, 具体可以归纳为间接和直接的两类, 如图 3 所示。

4.3 生命探测的仪器、设备与结果

从 1996 到 2008 年, 共发射了 13 个火星探测器, 除俄罗斯的“火星 96”(多国合作), 日本的“希望号”轨道器, 欧空局发射的“火星直达快车”登陆器

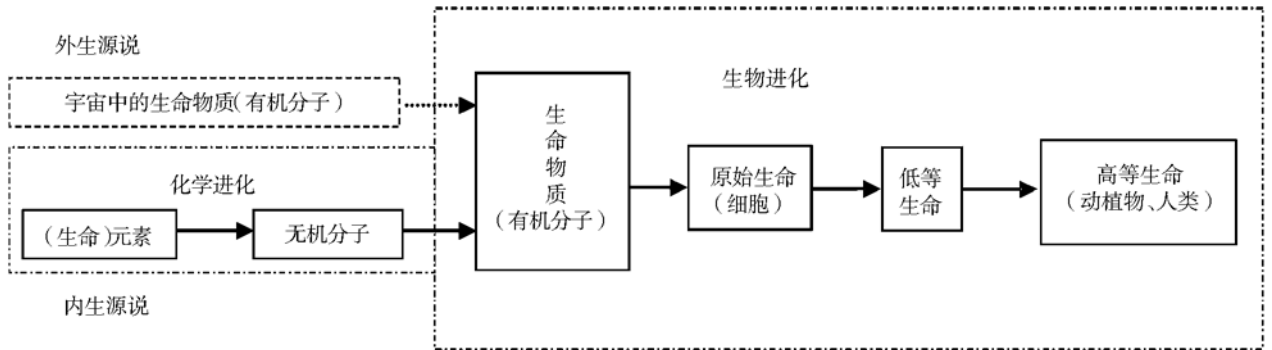


图 2 地球生命的进化过程

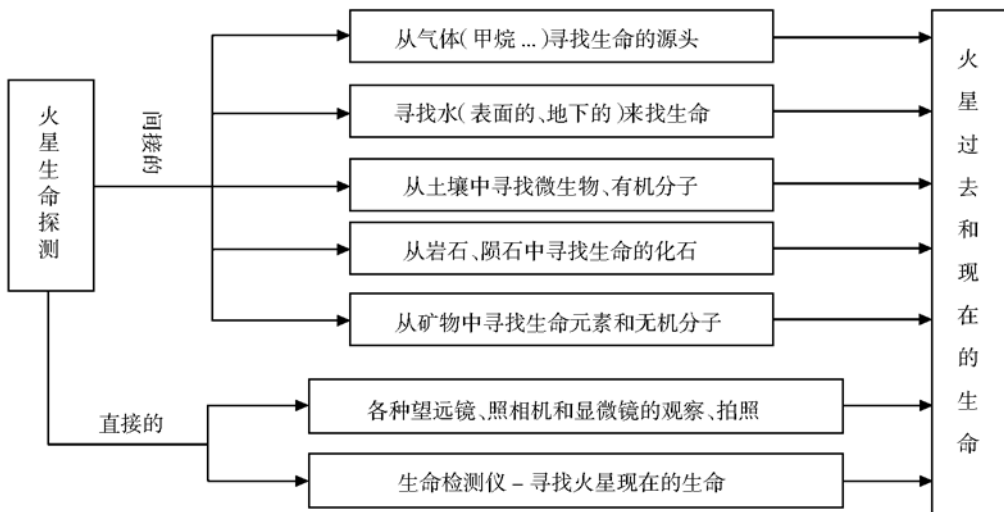


图 3 火星生命探测的途径

及美国的火星气候轨道器、火星极地登陆器和深空 2 号探测器失败外,其余 8 个获得成功,如图 4 所示。虽然,各个探测器的具体任务、探测对象和探测设备各不相同,都取得了大量照片和探测数据,获得了丰硕成果。例如:证实了先前所谓的“火星人头像”实际上是露出地面的岩层;“凤凰”号火星探测器通过其热量和释出气体分析仪(TEGA)加热火星土壤样本时鉴别出有水蒸气产生,从而确认火星上有水存在^[6];它的摄

像机记录了水冰的蒸发过程;后来又探测到火星有降雪现象;探测到表面火星土壤呈碱性,含有碳酸钙,而碳酸钙只形成于支持生命存在的液态水中。对于火星表面的地形、地貌,其结果最近 NASA 已委托谷歌(Google)网站像发布“数字地球”一样,公开发布“数字火星”等。美国的 MSP 实现了它找水目的,但是,他们所用的直接或间接的生命探测仪器和设备,尚未发现火星有现存的生命或过去的生命迹象。例如:

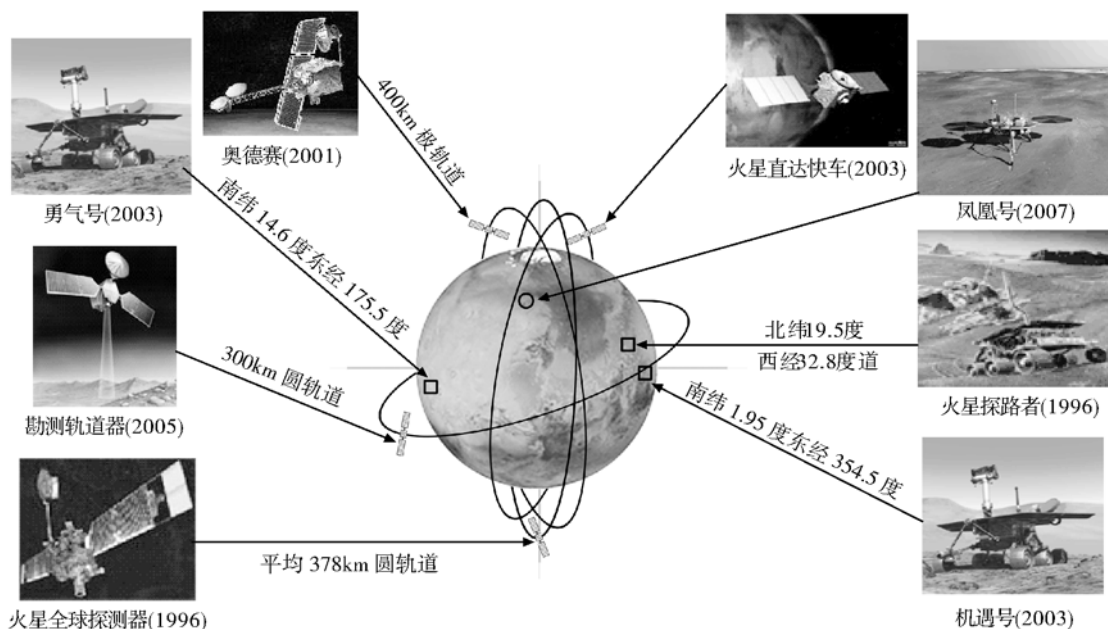


图 4 1996-2008 的火星探测器(示意图)

①采用各种类型的高分辨率立体或彩色照相机,高清晰度成像等设备,从轨道高处直接观察和寻找火星上可能存在的类似地球上的高等动、植物。没有发现火星表面存在这种生命。

②采用各种(紫外、红外、激光、X 射线…)分光计(光谱仪)、高能中子探测器、浅表层探测雷达和其它对地观测设备,以及物理和化学分析方法,从轨道高处及火星表面,通过检测大气、地表、土壤和岩石,寻找水,间接地寻找火星过去或现在是否存在生命的迹象。到现在,还未有发现存在生命的确凿证据。

③利用装在登陆器/漫游火星车上的挖土机和各种地质探测设备,采用物理和化学分析方法,通过检测所取得的岩石,浅层土壤和矿物,间接地寻找火星过去和现在是否存在生命的痕迹,目前尚未有结果。

4.4 下一步的火星生命探测

(1) 微观生命检测器(生物芯片)

MSP 证实了火星北极有水,但没有实现寻找生命的首要科学目的,这将是未来十年美国 MES 和欧空局火星探测的首要任务。目前,计划进行火星探测的国家已从美、俄、欧空局扩展到中国、加拿大和印度等国。但直接以探测火星生命为目标的探测器,主要有美国的火星科学实验室(MSL,原计划 09 年 10 月发射,现推迟至 2011 年发射),天体生物学实验室(2013 或 2018 年发射),欧空局的地外火星(ExoMars,原计划 2013 年发射,现推迟至 2016 年)以及火星取样返回任务等。

由于从火星地面及浅表层尚未探测到生命的痕迹,人们寄希望于在火星的洞穴及较深的地下土壤中能找到“微观的”生命,如各种微生物、细菌、单细胞及有机分子等。对于这些生命的探测,作为微观的生命检测器-“生物芯片”,正好派上用场。生物芯片的主要特点是高通量、微型化和自动化,效率是传统检测手段的成百上千倍。这些特点完全符合地外生

命探测的特殊需求。

进入新世纪后,美国宇航局投巨资(已多次资助达 300 多万美元)研发一种以前诺贝尔奖获得者加州大学圣地亚哥分校学者 Harold C. Urey 名字命名的“龙里(Urey)”火星生命检测仪器,该仪器实际上是一种有机物与氧化剂检测器^[7-9]。它是通过测定氨基酸分子的不同“手性”(chirality)来确定是否含有有机分子的。氨基酸存在两种手性,分别用“L”和“D”表示,彼此互为镜像,如同人的左、右手(见图 5)。地球上的生命,从最简单的微生物到最大的植物和动物,其氨基酸只由一种手性(L 型或说左手型)构成,例外的极少。而无生命的氨基酸是“L”、“D”两种手性的混合物(各占 50%或不同比分)。“尤利”可检测几种浓度低于万亿分之几的有机分子,如氨基酸、核基(Nucleobase)、氨基糖和多环芳烃等。因此,通过测定火星岩石与土壤物质的氨基酸手性,就可确定火星是否存在生命物质。图 6 是其结构示意图,它由 4 部分组成:

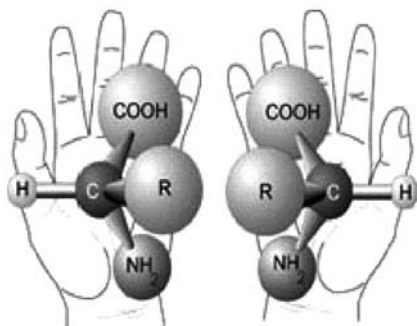


图 5 氨基酸的手性

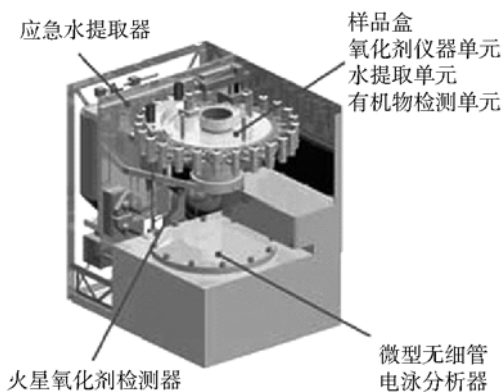


图 6 尤利仪器示意图

① 亚临界水提取器(SCWE),用于从样品中提取靶(目标)化合物;

② 火星有机物检测器(MOD),用来升华、纯化

和浓缩靶有机化合物;

③ 一个新式的以微型无细管电泳系统构成的芯片实验室,用来进行成分和手性分析;

④ 火星氧化剂仪器(MOI),用来决定样品的氧化特性。

整个系统已经在美国宇航局发起的、名为“佐伊”机器人漫游者在加州沙漠及南美智利荒芜的阿塔卡马(Atacama)沙漠的模拟太空任务中进行了现场试验。“佐伊”通过观察青苔和细菌的自然荧光性质,能够探测到生命体的存在。结果表明,对于氨基酸、胺和核基化合物具有十亿至万亿分之几的灵敏度。证明尤利是一套用于在火星及其它星球寻找灭绝和现存生命的、高灵敏的仪器。

这套仪器原计划作为火星天体生物学探测装置(MAP)用于美国“火星科学实验室(MSL)”任务,大概是研制来不及,在 2011 年发射的 MSL 中,用于生命迹象探测的设备是一台重 38kg(占科学载荷重量的一半)的火星样品分析仪(SAM)^[10],它包括一台质谱仪、一台气体色谱和一台可调激光光谱仪,主要用于研究与生命有关的甲烷、碳基化合物,同时还测定氢、氧和氮等的含量,研究火星过去和现在支持微生物生存的可能性。此外,还有化学与矿物学仪器(CheMin)等。

但是,尤利仪器已被欧空局选定作为 2016 年发射的 ExoMars 火星探测器上的一个关键有效载荷^[11]。目前尤利仪器的国际研究团队,正在进行飞行样机的研制。科学家希望“尤里”能辨出火星上的氨基酸是由活的有机体生成,还是由其他一些物质产生。

(2) 地外“特殊”生命的检测

前面所述的“生命”及其检测设备,都是以地球生命为“蓝本”而进行的。但是环境和条件的不同,生命的形态和特征可能很不一样。如果火星上的生命与地球上的生命完全不同,又应该怎么办?到目前为止,尚未发明出普遍适用的生命检测仪器,因为没有关于生命的普遍适用的定义。因此,我们没有任何理由断定,地球上用的生命检测技术和设备就一定适用于地外生命的检测。可是地外星球有没有生命?如果有,是什么样?有何特征?无人知晓。影视片中虚构的外星生物,从未发现。面对这种挑战,有人提出了一种解决问题的思路:即凡有生命活动的地方,

其周围的环境和大气的化学特性就会有变化。为此,美国宇航局 JPL 生命检测中心为了在火星上找到任何可能存在的生命,正在制定一项发展“非地球中心的生命检测”计划。该计划的研究集中在生命的物理和化学方面。核心是采用成像和结合测量各种化学参数的方法一起进行分析。

(3) 生物入侵与防护

生物入侵与防护属于“行星保护”问题,登月、探火自然也不例外。其主要涵义有两个方面:

①“正向(Forward)污染”:火星或其它星体特殊的自然环境必须受到保护,不能受到来自地球微生物和有机物质的污染和破坏;

②“反向(Backward)污染”:载人飞船中的航天员和设备,以及地球及其生物圈不能受到外星物质、返回探测器及其取回的样品的有害污染或破坏。

目前,对于防止正向污染的措施,是对火星探测器(特别是登陆器)进行各种严格的消毒,过滤和热烘(110—146℃,50h)。即便如此,仍然发现探测器存在许多微生物或细菌(按规定标准,孢子数不能超过 300 个/m²)。因此,从海盗号登陆火星之日开始,地球生物就已“入侵”火星。其实,只要有地球上的“物品”到达任一星球,地球生命对该星球的入侵就不可避免。不过,有人认为,这些地球上的微生物和细菌到达火星后,会因火星上的严酷环境(低温、干燥和强辐射)无法生存。为了避免因探测器可能带来的地球微生物污染,影响探测的真实结果,美国人规定,凡是已被登陆器探测过的火星地区,不能再次登陆探测。

对于反向污染,这是火星取样返回任务及未来载人火星飞行中最令人们担心的问题。因为,能在极其恶劣环境下生存的火星微生物(如果存在的话),一旦到达地球这样的“优越”环境,就会迅猛繁殖发展,可能对地球生物圈造成难以预料的影响或危害。可是,不进行火星取样返回飞行,就谈不上载人火星飞行,就会失去探测火星的主要目的,因此,必须面对和设法解决这个问题。有人提出,让返回的探测器及样品先到空间站进行各种处理,然后再回到地球;或者先降落到渺无人烟的沙漠,或孤岛,专门处理后

再回到相关的实验室等隔离方法。COSPAR 及其它有关的国际学术团体正在组织专家研究,寻求更有效和可行的解决办法。

5 结束语

火星生命探测是人类千百年来的追求,也是人类自身持续发展的现实需要,它是当今太阳系探测的重点。火星探测是寻找生命之旅,是正在艰难前行和攻坚的未竟之旅,不管最终探测的是什么结果,都将对太阳系内外类地行星的探测产生重要影响。如果说,人类实现天地往返与成功登月,是 20 世纪人类航天的辉煌,那末火星生命探测及载人火星飞行将是新世纪上半页人类航天最重大的事件。中国探火活动已经启动,一当探火大幕拉开,中国也将会在深空探测舞台演出自己的精彩节目,对世界做出新的贡献。

参 考 文 献

- [1] <http://mars.jpl.nasa.gov/missions/>
- [2] NASA 1996 Mars Missions. Press kit November or Release: 96-207. Three Mars Missions to Lunch in late 1996
- [3] <http://mars.jpl.nasa.gov/science/>
- [4] 《Mars Exploration Strategy 2009-2020》Edited by Daniel J. McCleese Jet Propulsion Laboratory
- [5] 吴汉基,蒋远大,张志远,张宝明.空间探测与天体生物学—空间探测也是生命寻根问祖之旅.中国空间科学学会空间探测专业委员会第二十次学术会议论文,2007 年 9 月
- [6] 2008-08-01, 新华网;<http://www.sina.com.cn> 2008-09-30;2009-02-23, 新华网;
- [7] Richard Mathies, Jeffrey Bada. Integration of a Micro-chip Amino Acid Chirality Detector into the Mars Organic Detector NASA Research Grant NAG5-12139. Dates of Project: 5/1/02-4/30/04
- [8] Stephen Battersby. Rover instrument to sniff out life on Mars. NewScientist.com news service ,01 May 2008
- [9] Andrew.D.Aubrey,et.al. The Urey instrument: an advanced in situ organic and oxidant detector for Mars exploration. Astrobiology. 2008 Jun;8(3):583-95.
- [10] Mars Science Laboratory.NASA Facts,MLS-200608.pdf
- [11] UREY: Mars Organic and Oxidant Detector Searching for Signs of Life on Mars ESA Pasteur/ExoMars Mission http://www.nasa.gov/centers/ames/research/2007/mars_sensor.html

(下转第 39 页)