

放射性同位素电池在火星上

蔡善钰

太阳系里有八大行星在周而复始、永不停息地围绕着太阳旋转。他们离太阳的距离由近及远依次排列为水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星和海王星。由此可见，火星是地球的近邻。人类对火星为什么会情有独钟？不仅是因为从地球上遥望火星，颜色鲜红，引人遐想，更因为是火星和地球十分相似，素有姐妹星之称。据估计，火星直径只有地球的 1/2，体积是地球的 15%，质量大约为地球的 1/10，但是，火星与地球一样有昼夜之分（一个昼夜为 24 小时 37 分）；也有四季变换。火星的公转轨道半径是地球的 1.5 倍，公转一年近 687 个地球日。由于火星离太阳远，白天温度为 20~28℃，夜间温度降至零下 80℃，两极最低温度可达零下 139℃。火星也有大气，但要稀薄得多。另外，在地质结构和岩石成分上，火星和地球也颇为相近。火星上的岩石年龄，据推断与地球上最古老的岩石年龄大致相仿，估计在 36~39 亿年。

既然生命在这样漫长的时间内能在地球上产生，为什么生命就不能在火星上产生呢？火星上究竟有无火星星人，或者有无生命迹象？当人类进入航天时代后，火星理所当然与月球一样成为十分诱人的探测目标，并激起一波又一波的火星探测热。

自 1962 年苏联发射火星 1 号探测器揭开人类探索火星的序幕以来至 20 世纪末，苏联和美国向火星发送了近 30 艘飞船，可谓失败与成功参半，挑战与机遇并存。新世纪来临后，“奥德赛”、“勇气号”、“机遇号”一艘艘飞船接连登陆火星，获得了不少来自火星的信息。

当飞船向外层行星飞行时，由于太阳光强度随着离开太阳距离的增加而呈平方关系下降，因而在飞往火星、木星、土星等外层行星时，使用放射性同位素电池作为飞船能源显示出很大的优越性，有的场合甚至成为唯一选择。在 2010 年第 5 期，本刊登载有《放射性同位素电池在月球上》一文，对同位素电池发电原理和性能已有介绍，此处不再重复。

放射性同位素衰变时产生的热能可直接利用，也可通过核能器转变成电能使用。后者研究最为成熟的是放射性同位素温差发电器（简称 RTG）。美国“阿波罗”登月计划、火星及其他外行星探测之所以取得很大成功，与选择使用 RTG 和 RHU（放射性同位素加热器）是分不开的。

值得一提的是 1975 年“海盗 1 号”和“海盗 2 号”探测器在火星上的软着陆；1996 年“火星探路者”漫游车的首次行走；2004 年“勇气号”和“机遇号”漫游车的相继巡视，使人类对火星的认识不断深化。在今年迎来火星探索 50 年之际，“好奇号”核动力火星越野车的登陆，再次给人类带来新的惊喜，期盼能进一步揭开火星上的生命之谜。

1. 放射性同位素电源供电的火星着陆器——“海盗 1 号”和“海盗 2 号”

为了获得高分辨率的火星表面图像，描绘火星大气的结构和组成，搜索火星上有没有生命的证据，美国在 20 世纪 70 年代中期启动了“海盗号”火星探测计划。耗资 10 亿美元。两艘完全相同的宇宙飞船“海盗 1 号”和“海盗 2 号”分别于 1975 年 8 月 20 日和 9 月 9 日发射升空。每艘飞船由轨道器（即轨道飞行器）和着陆器组成。长为 5.08 m，重 3530 kg（其中轨道器重 2330 kg，登陆舱重 1200 kg）。两艘飞船的着陆器先后于 1976 年 7 月 20 日和 9 月 3 日在火星表面软着陆。轨道器的主要功能是运送着陆器，确认着陆地点，作为着陆器与地球的通信中继，并进行其自身的科研项目。轨道器由 4 块太阳能电池帆板供能（电功率 620 W）。

“海盗 1 号”和“海盗 2 号”着陆器，实际是一座太空实验室。着陆器呈六边形（非等边）结构，由三条腿支撑（图 1）。这三条支撑腿正好构成了等边三角形（边长为 2.21 m）。着陆器的最大特点是能源供应全部来自放射性同位素温差发电机。

美国空间用同位素电池几乎都使用了钚 238 燃料（它与用作核武器装料的钚的另一种同位素，钚

239 性质不同), 这是因为它具有合适的功率密度 (0.41 W/g); 足够长的半衰期 (为 87.7 年, 热功率衰变 $<1\%$ /年) 和很低的 γ 辐射 (可大大减轻屏蔽重量) 等优点, 又考虑到火星上有严寒的夜晚和严重的沙尘暴, 加之火星上太阳光通量只有地球的一半, 因而每艘着陆器均使用了 2 台铀 238 同位素温差发电器 (SNAP-19 RTG)。每台发电器内装填有 40 千居里二氧化铀-钼的固溶体陶瓷燃料, 然后密封在采用三层不同合金材料制成的燃料盒内; 最外层还套有石墨保护层, 以确保同位素热源在空间发射和使用过程中的安全性与可靠性。每台热源能产生 675 W 热量。热源外围的换能器由 N 型半导体碲化铅元件和 p 型半导体 TAGS 元件 (碲、铋、锗、银的合金) 组成。铀 238 热源经热电转换后, 产生的初始电功率 42.5 W, 转换效率为 6.3%。RTG 的高度为 28 cm, 直径为 58 cm。重 15.2 kg, 比功率达到 2.8 W/kg。

着陆器上的 2 台 RTG, 发出的总电功率为 85 瓦, 原设计寿命为 90 天。实际上“海盗 1 号”着陆器在火星表面工作了 6 年多 (直至 1982 年 11 月 13 日失去联系), 而“海盗 2 号”着陆器也工作 3 年半 (1980 年 4 月 11 日电池失效后关闭)。证明同位素电池在火星的极端环境下可以稳定地工作。

着陆器上安装有多种科学仪器和设备, 如两台电视摄像机, 3 台生物学测定仪, 1 台气相色谱-质谱联用仪, 1 台 X 射线荧光分析仪, 还有气象仪、地震仪、土壤取样器等。利用这些仪器可测量风速、气压和温度, 确定火星的大气成分, 还能使用机械手挖掘火星地表土壤, 并将样品送入仪器进行分析。着陆器发回了 4500 幅高质量火星地面图像。

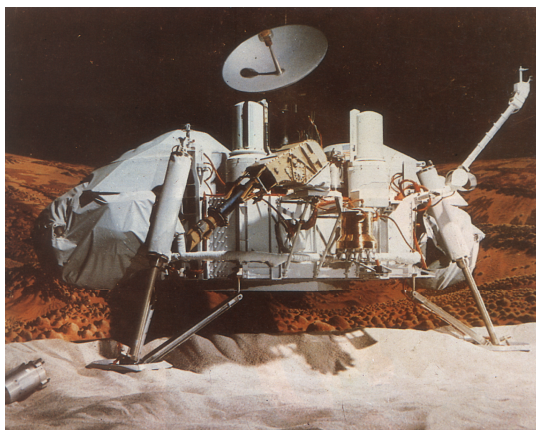


图 1 “海盗号”火星登陆器 (左后侧遮挡布内为 RTG)

考察结果显示: 火星是一个荒凉的世界。其表面也有环形山, 大峡谷、山脉以及蜿蜒曲折、外貌酷似河床的结构物, 却未发现任何高级生命迹象, 从而排除了有关火星人的推测。此外, 也发现了大量不同寻常的现象, 显示火星过去, 甚至现在还有水存在的迹象, 包括明显的冲刷痕迹, 河床遗迹等。

近年来, 不少科学家对当年“海盗号”的考察结果提出了质疑。他们通过实验发现, “海盗号”着陆器上的气相色谱-质谱联用仪设计上存在很大问题, 这种仪器甚至都不能从与火星类似的地球土壤中探测出生命物质的存在, 而通过其他的方法却探测出含有微生物。还有科学家认为, “海盗号”火星探测器在 30 多年前可能无意中已经发现火星微生物, 但是由于没有意识到, 在随后的操作中, 这些微生物发生了“溺亡”或者“热死”现象。这些观点可能有助于今后火星探测任务的开展, 有望找到可能存在与地球不同的生命形态。

2. 放射性同位素热源供热的火星漫游车

——“火星探路者”、“勇气号”和“机遇号”

1996 年 12 月 4 日美国发射了“火星探路者”飞船, 这是美国航空航天局执行火星探测计划的一个组成部分。1997 年 7 月 4 日, 飞船进入火星大气层, 然后依靠降落伞以每小时 88.5 千米的速度飘向火星表面, 并在着陆前数秒钟打开 9 个巨大的保护气囊。火星探路者在密封气囊的保护下, 经过十几次弹跳和翻滚之后, 终于在火星表面着陆。随后, 飞船打开外侧的电池板, 重约 10 千克的 6 轮漫游车缓缓驶出飞船。这是人类首次采用漫游车的形式展开对火星的考察活动 (图 2)。

火星探路者漫游车的长度、宽度、高度各为 0.60 m、0.46 m、0.18 m, 重量约 7.5 kg。它携带有太阳能电池帆板, 依靠太阳能驱动发动机; 利用无线电遥控传递信息, 与地球保持联系, 并按照地面操作进行活动。漫游车上还装有 157 台 RHU, 以供电子器件加热用, 否则度过一个火星夜晚后, 漫游车将不能继续行走, 因为火星夜晚的最低温度会降至 -80°C 。

RHU 的尺寸为直径 26 mm, 高度 32 mm, 质量约 40 g, 能输出 1 W 热量。其内装有近 2.7 克的二氧化铀陶瓷燃料片, 用铂-铑合金壳焊封, 其外再套上石墨屏蔽层。为了确保铀 238 热源的安全, 包壳端盖上还设置有氦气释放孔。对于远

离太阳的深太空飞船，使用一定数量的同位素加热器，可防止搭载的各种探测器免受严寒的危害。例如在“火星探路者”发射之前，曾在“先驱者号”飞船上配置有 12 台 RHU；在飞往木星的“伽利略号”飞船上安装有 120 台 RHU（包括在轨道飞行器上的 84 台和在大气探测器内的 36 台）；还在“火星探路者”发射之后，飞往土星的“克西尼号”飞船上也安装了 135 台 RHU。

火星探路者漫游车的探测取得不少收获。经由古代洪水冲刷形成的一个 488 平方米的小岛作详尽观察，科学家发现火星的山谷平原暴发过多次洪水，并有众多由水冲击而来的圆形岩石，其中许多岩石沿同方向排列，表明它们受到同样水流的冲击。

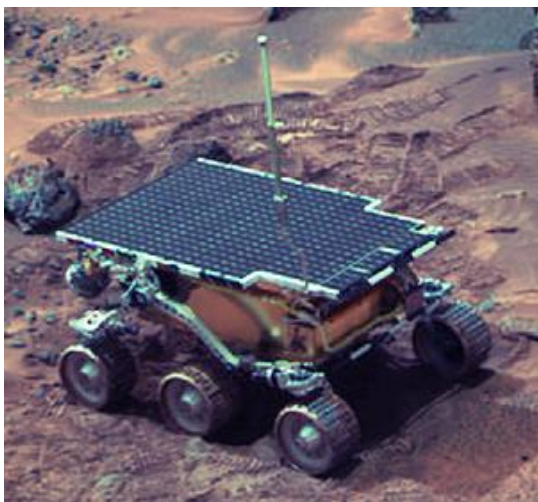


图 2 “火星探路者号”漫游车

2003 年美国航空航天局又向火星发射了一对孪生漫游车——“勇气号”和“机遇号”。车长 1.6 m、宽度 2.3 m、高度 1.5 m，重量为 174 kg。他们的“大脑”是一台每秒能执行约 2000 万条指令的计算机。总共耗资 8.2 亿美元。他们先后在 2003 年 6 月 10 日和 7 月 7 日发射升空，并分别于 2004 年 1 月 3 日和 1 月 25 日安全着陆在火星表面。其中“勇气号”着陆在火星南半球的一个陨石坑，“机遇号”则着陆在一个富含赤铁矿的地区，两者间隔 10600 千米，在火星两侧几乎完全相对。这两辆火星漫游车均依靠餐桌大小的太阳能电池帆板获得能源，也都使用了 8 台 RHU，以使车载探测仪器安全度过火星夜晚。

“勇气号”预定考察使命为 90 天，由于探测器的除尘功能得到了有效发挥，使实际考察时间大大延长。勇气号在其着陆区发现了火星上过去可能有水的新证据。“机遇号”在火星上的最大发现是火星上曾经比现在温暖和湿润得多，而且存在过含有盐分的液态海洋。“火星探路者”和后来的“勇气号”、“机遇号”探测项目都找到了大量的地质学和矿物学的证据，证明火星上确实曾经存在大量的水。

3. 放射性同位素电源供电的火星越野车 ——“好奇号”

近年来，火星探测目标就围绕火星是否曾经支持生命的存在而进行。2011 年 11 月 26 日，“好奇号”火星越野车从肯尼迪航天中心发射升空，顺利进入飞往火星的轨道。该火星车的名字 Curiosity 由美国堪萨斯州 6 年级华裔女孩马天琪提出，经美国航空航天局决定从 9 个候选名字中进行投票后胜出。2012 年 8 月 7 日“好奇号”在火星的盖尔陨石坑山脚着陆（此处被地质学家认为是一个古代的湖泊沉积场所），展开为期一个火星年的探测。美国航空航天局在经费不断削减，航天飞机又告终止的时刻，这项任务能否顺利完成对其来说至关重要。

“好奇号”火星越野车，长 3 m、宽 2.8 m、高 3 m、重约 900 千克（图 3）。与“勇气号”和“机遇号”相比，长度约为他们的两倍，重量是他们的 5 倍多。耗资达 25 亿美元。计划将以前所未有的精度，寻找火星上可能存在过的水的痕迹，以及其他生命存在的基础。



图 3 “好奇号”火星越野车（右侧为 RTG）

“好奇号”火星车属于新一代移动式科学实验室。其最大特点是全部采用核动力。它由“多使命放射性同位素温差发电机”（简称 MMRTG）供电。这种 RTG 是由“海盗号”同位素温差发电机（SNAP-19 RTG），百瓦级同位素温差发电机（MHW RTG），特别是通用型同位素温差发电机（GPHS-RTG）发展而来。虽然它也由两个主要部件：钚 238 热源和热电转换器组成，但却采用了更加标准、更加灵活的模块化设计。MMRTG 由 8 个通用型热源模块组成，总共使用了 4.8 千克 $^{238}\text{PuO}_2$ 陶瓷燃料。每个模块能发出 250 W 热量，总热能输出为 2000 W。换能器采用半导体热电元件，其中 n 型元件为 PbTe，p 型元件为 TAGS。经热电转换后，初始电功率可达 123 W，热电转换效率为 6.3%。设计寿命为 14 年，到终了时电功率还剩下 99 W。这台 MMRTG 直径约 64 cm，高 66 cm，总重量为 45 kg。

MMRTG 产生的电力可用来为两块锂电池充电。每块电池的容量是 42 安培小时，按照设计，这些电池将在每一个火星日完成一次充电-放电循环。它还可以提供持续的电能，并能适应多种不同任务的需求。完全采用核动力供电方式，可使火星车彻底摆脱对阳光的依赖，并大大延长其在火星表面的运行寿命。当年“勇气号”正是由于太阳能帆板被沙尘覆盖，又面临火星严酷的冬季环境而永远无法苏醒过来了。

“好奇号”火星车的第二个特点是在火星表面的行驶能力更强。可以说是一辆很好的越野车。前述“火星探路者”漫游车的总行程只有 100 米，而

科苑快讯

月球来自一次正面撞击

大约 45.3 亿年前，一个火星大小的天体猛烈撞击地球，形成年轻炽热的月球。但是这个过程是正面撞击还是侧面撞击呢？新的计算机模拟证明这是一次正面撞击，而且比以前所设想的角度更陡，速度更高。另外，向太空中喷射出的地球碎片也远多于以往模型，同时温度也更高。

相较以往的设想，这意味着月球更多的是以类地球物质组成。而相撞天体的来源还是一个开放性问题。以往模型中较慢的撞击速度要求其来自与地球非常近的轨道，新的模型则预测其来自太阳系更加遥远的区域。这一论文发表于最近的《伊卡洛斯》

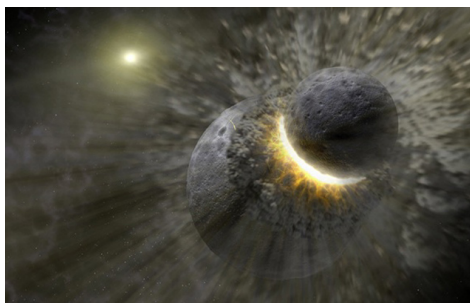
“好奇号”火星车的设计行程将超过 19 千米，并能攀登山丘。

“好奇号”火星车的第三个特点是携带了更多、更先进的探测设备。总共携带了 10 台科学仪器，以探索过去及现在火星是否存在适宜生命存在的环境。这些仪器包括： α 粒子激发的 X 射线荧光分析仪（由加拿大研制），火星样品分析仪（美、法联合研制），化学与矿物学分析仪，化学和成像结合设备，中子反散射探测器（由俄罗斯研制），机器人臂端透镜成像仪，降落阶段照相机，辐射评价探测器（由美、德联合研制），车载环境监测站（西班牙研制）和全景摄像机。通过上述车载仪器的工作，将弄清火星表面可能存在的有机物的性质和含量；测定火星表面生命元素的含量；调查火星表面的化学元素、同位素和矿物构成；弄清火星表面的水和二氧化碳的存在形态、分布情况和循环过程等。

火星上究竟是否存在与地球不同的其他形式的生命，或者是否曾经存在过有智慧的高级生物，还是一个难解之谜。目前“好奇号”火星车在登陆后已完成计算机的软件升级，也就是说它的大脑已从“着陆模式”更换为“探索模式”。据报道，9 月初“好奇号”开始在火星表面移动。另外也已利用其携带的“辐射评价探测器”测量火星的辐射环境，相关这些信息将有助于设计未来的载人探索火星计划。目前，人们正以极大的好奇心期待着“好奇号”传来新奇的探测成果。

（中国原子能科学研究院同位素研究所 102413）

《Icarus》。《伊卡洛斯》是重要的行星学期刊，其名称为希腊神话人物，主要发表与太阳系和太阳系外行星相关的天文、地质、气象、物理、化学、生物学等相关的学科研究论文。



（高凌云编译自 2012 年 8 月 3 日 www.sciencemag.org）