

“凤凰”号着陆火星北极探秘

李 良

2007年8月4日,美国航空航天局(NASA)成功发射“凤凰”号火星探测器。它在经历了 6.8×10^8 千米航行之后,于2008年5月25日19:53(美国东部时间),在火星北纬 68° 、东经 234° 的瓦斯蒂塔斯-伯里利斯(Vastitas Borealis)平原上成功着陆,这里是48千米宽的低浅山谷中,地势较为平坦。它着陆时,欧洲“火星快车”捕获到它当时发出的尖叫声。由于多普勒效应,“火星快车”远离“凤凰”号时,就像听到经过的火车的鸣叫,声音发生明显变化。“凤凰”号上安装了一个麦克风,目的是录下该探测器降落时的声音。

2008年5月27日,“凤凰”号发回来其记录的第一份火星气象报告;6月20日NASA的科学家正式宣布,火星北极确实存在水冰,这一发现是了解火星表面是否适合居住的关键一步。6月26日,NASA科学家又宣布,“凤凰”号首次分析火星北极土壤的实验结果表明,火星土壤同地球极为类似,其中含有一些生命所需的矿物质。这是人类对寻找火星生命发起的又一次强力的冲击,也是对太阳系行星地下结构研究的一次大胆的尝试。总而言之,“凤凰”号是人类远征火星的又一次成功的壮举。“凤凰”号的设计寿命为三个月,其使用寿命有可能会延长一个月左右。据估计,“凤凰”号在火星上探测的时间绝对不会有“勇气”号和“机遇”号寿命那么长,随着季节推移,着陆点上空的日照时间将越来越短,探测器获得的太阳能也会越来越少,无法保证它安然度过冬天,“凤凰”号的太阳电池翼也会被火星尘暴覆盖而失去动力。

迷人的火星

在太阳系八颗行星中,没有一颗如火星这样让地球人着迷。火星的颜色看起来非常与众不同,它不仅发红,有时甚至还很鲜艳。在长期的观测实践中,人们一直被它的运动所迷惑,因为,有时候看起来它在星空背景上由西向东移动着位置,被称为“顺行”,有时则是自东向西“逆行”,在从顺行变为逆行或从逆行变为顺行的时候,它又好像是停留在原来的位置上不动。在还不能正确解释火星视运动中的这些现象时,我国古人把它叫做“荧惑”是很有道理的。西方人则称其为玛尔斯,意为战神。

火星的赤道半径为3398千米,约为地球半径的一半,其体积只有地球的七分之一。火星的质量约为地球的九分之一,其表面重力加速度只有地球表面的五分之二,在火星上以每秒5千米的速度抛出的物体就能脱离火星。火星自转周期为24小时37分23秒,公转周期约687天。火星的轨道偏心率是0.0934,远日点距离是24920万千米,近日点距离是20670万千米。火星在椭圆轨道运行时同地球的距离变化很大,火星与地球的会合周期是779.94天,即大约每隔这样一端时间,火星接近地球一次。虽然每次火星冲日前后,火星同地球的距离接近,但是每次的距离又不相同。当火星在近日点附近距离地球最近(可达5500万千米)时,称之为“火星大冲”。

美国宇航局研制的“海盗”1号和“海盗”2号火星探测器,先后于1975年8月20日和9月9日发射成功。海盗1号于1976年6月到达火星,成为一颗人造火星卫星。一个月后其着陆舱顺利着陆在火星的一片平原上。1976年9月3日,海盗2号的着陆舱也着陆成功,两者相距约1500千米。两艘“海盗”号探测器拨开了火星的迷雾,显露了火星的真实地貌。原来,火星上砂石成堆,空气稀薄;还有比地球高好几倍的山峰;有几千千米长的大峡谷。从干涸的河床和复杂的河床图案,给人的印象是,在多少亿年以前这里可能有过洪水。在火星表面的初步探索中从未找到生命的踪影,更不用说火星人了。从探测器发回来的火星照片看出,火星表面大部分是红色氧化铁的尘土和石块覆盖的沙漠。根据多年观测知道,火星上经常刮起沙尘暴,规模之大远远超过地球上的台风,有时一刮就是几个月。

研究火星的现状及演化史,对于了解地球及其环境的变化趋势很有意义。说到底,人类研究的最终目的是对火星的开发和利用,包括未来的移民火星。为此目的,这颗远在上亿千米之外的红色行星一次次点燃起人类探索的激情。截止到2007年8月8日,人类共发射了38个火星探测器,其中美国18个,前苏联17个,俄罗斯1个,日本1个、欧洲1个。总共有18个探测器成功对火星进行了探测,其中5个飞越火星,7个进入火星轨道探测,6个在火星着陆。目前正在考察火星的探测器有美国的“火

星环球勘测者”、“奥德赛”探测器、“火星勘测轨道飞行器”以及欧洲的“火星快车”探测器，火星地面有“勇气”号、“机遇”号两辆火星探测车。未来30年，有可能进入一个在火星探索方面进行国际合作的新时代。人类殖民火星的初始目标（建立火星考察营地）很可能在21世纪中叶实现。

“凤凰”号问世的科学背景

美国宇航局“火星表面探索任务”负责人汤姆逊几年前在一次学术会议上说：“如果科学家在火星上找到了水，在未来20年至30年内，人类就能登上火星。只有在火星上找到了水源，我们才能为火箭补充所需用水。”如果能够探测到水，对人类的火星探测活动来说将具有里程碑式的意义。如果能够直接探测到生命，则会更加激动人心。为了找到火星水源和火星生命的迹象，美国曾于1998年底和1999年初发射的“火星气候轨道器”和“火星极区着陆器”都因故障功亏一篑。在经历了两次失败之后，美国于21世纪初对“火星生命计划”进行了调整，即在21世纪前10年中安排5次火星探测任务，每26个月1次。具体安排是：2001年执行“火星测量者计划”；2003年执行“火星探测漫游者”计划；2005年执行“火星勘测轨道器”计划；2007年执行“火星搜索计划”；2009年执行“火星科学实验室”计划。

2001年4月7日，美国发射了“火星测量者计划”中的“火星奥德赛”探测器。2002年3月1日美国航空航天局宣布，“奥德赛”火星探测器传回的火星南极图像和数据表明，火星上有大量的水冰。从而再次掀起人类对火星探索的狂热。2003年6月10日和7月8日，美国先后发射了“勇气”号和“机遇”号“孪生”火星车，在成功着陆后，它们通过所携带的高精尖仪器，搜索火星曾经存在水的证据，并判断火星是否存在过适合生命体的环境；它们还铲起泥土，开凿岩石并检查样本，不断向地面控制人员发回火星岩石、土壤和大气的信息并拍摄大量图片。这2辆火星车已找到了一些火星上有水的证据，至今还在超期服役。

几年前，美国宇航局（NASA）从科学团体提出的火星勘探计划中，遴选出一系列小型火星探测器——“火星童子军”计划，其英文全称为“Mars Scout Program”，简称MSP计划。该计划包括太空飞行器和小型登陆器，其特点是低成本、小规模，所以取名为“童子军”（Scout）。经过激烈的投标

竞争，共有四个“火星童子军”计划的项目获得通过，它们是：“凤凰”号着陆器计划(Phoenix)、“白羊座”火星飞机计划(Aries)、飞越大气采样计划（SCIM）和极微量生物物质探测小型轨道器（Marvel）。

2005年6月，NASA批准“凤凰”计划(Phoenix)作为“火星童子军”计划的第一个型号。该计划是从四份火星未来侦察使命的建议书中选出来的，其他三项建议分别是：火星勘测样本采集计划（SCIM）、区域大气环境勘探（ARES）以及火星火山爆发和生命探查（MARVEL）。该计划作为新系列小型火星侦察使命的首发。按照该计划，“凤凰”号火星探测器于2007年8月升空，2008年5月，探测器将在火星北部平原地区着陆，在那里寻找过去和现在的生命痕迹以及水源的情况，据“奥德赛”探测器在2002年的探测显示这里富含水冰。

在“凤凰”号之前，NASA曾经计划在发射一部名为“火星极地登陆者”的登陆车，在1999年，“火星极地登陆者”号（MPL）失败了，但是它的登陆装置经过改进，被2001年的“火星勘探者”号利用，但是该登陆车还没有发射，此计划就夭折了。

“凤凰”计划正好利用了“火星勘探者”号的登陆装置，“凤凰”号上的许多科学仪器是在“火星勘探者”基础上设计建造的。“凤凰”的名字“Phoenix”原意为“不死鸟”，以代表先前“火星极地着陆探测器”的复活。“凤凰”计划的总费用是3.86亿美元，其中包括发射费用。自从决定实施这一探测行动以来，NASA对整个任务的计划过程和初步准备进行了严格的审议和评估。

参与“凤凰”号火星探测器研发合作项目的有：亚利桑那州立大学、美国航空航天局喷气动力实验室、洛克希德·马丁公司空间系统部等。加拿大航天局为“凤凰”号提供气象监测服务，为着陆器上的“气象站”（MET）提供温度压力测量装置。“凤凰”计划的首席评估员、亚利桑那州立大学的彼得·史密斯说，火星北极平原与地球的永久冻结带有着相似的地理条件，NASA的这项探测很有可能将最终帮助我们在火星上发现生命的线索。“凤凰”号项目主管巴里·戈德斯丁认为，“凤凰”号是美国太空探索的重要一步，NASA对他们设计的登陆车和飞船都很有信心，相信他们能够成功完成科学探索任务。

“凤凰”号的目标与任务

为了保证太阳能电池提供足够的电力，“凤凰”号预先选择了阳光充足的夏日降落在火星北极地区。“凤凰”号可谓一个精制的火星登陆车，它拥有一个机械臂，可以深挖火星冰层，为登陆器上的复杂分析仪器提供分析样本，其主要设计用来测量火星北极地区水和有机分子的挥发性。它的长机械手可以深入到火星的冰层内进行取样。登陆车上的仪器可以对样本进行细致分析，识别出水和有机分子等活性物质。2002年美国航空航天局发射的“奥德赛号”轨道飞行器在火星北极地区发现了土壤中有冰的证据。当时“奥德赛”探测器上的伽马射线光谱仪测量的数据显示，在火星北极地区表面下50厘米厚的土壤里存在大量的水冰。因此此次“凤凰”号的主要任务是“跟踪火星水的形迹”。

“凤凰”号着陆器的科学探测主要目的是：

- (1) 研究火星极地气候、天气及其与火星地面的相互作用，分析北纬70度附近低空大气的成分，重点探测水、冰、尘粒、稀有气体和二氧化碳，并在大气层下降落过程中测量大气的特性。
- (2) 根据探测数据描述火星北部地区的地貌及地貌形成过程，测量表面下层土壤的物理特性，重点调查水的作用。
- (3) 测量水成矿物、土壤中的水分和有机成分；验证“奥德赛”探测器关于近表面层有水冰的发现。
- (4) “跟踪水的痕迹”，了解火星水、冰和极区气候变化历史，研究过去和现在火星表面及表面下层环境中存在生命的可能性。

非凡的火星探测利器

为了实现上述科学目标，“凤凰”号着陆器将携带7种科学探测仪器。其中包括：机械臂（RA），显微镜电化学与传导性分析仪（MECA），热与气体分析仪（TEGA），表面立体成像仪（SSI），机械臂相机（RAC），火星下降成像仪（MARDI），气象站（MET）。“不死鸟”充分继承了2001年发射的“火星极地着陆器”（MPL）的技术，并吸取先行者的成功经验和失败的教训。与MPL相比，它的最大变化是提高了太阳能电池的性能。考虑到当它到达火星时，火星距离太阳远了，太阳常数减小了，而且它降落在火星高纬度地区，太阳光的入射角（与太阳能电池板表面法线的夹角）变大，光电转换效率降低；所以“不死鸟”使用的太阳电池由奥德赛的两节改为三节电池。

机械臂（RA）是“不死鸟”的最重要设备之一，

用它可挖取火星土壤样品，然后把挖取的样品送入着陆器载的“显微镜电化学与传导性分析仪”和“热与气体分析仪”中进行化验分析。机械臂末端装有锯齿形刀片和波纹状尖锥，它能在坚硬的极区冻土表面挖掘1米的深坑。它还可以为装在臂上的照相机调整指向，并引导测量热与电传导性的探测器插进土壤。

显微镜电化学与传导性分析仪（MECA）是在“火星勘探者”计划中用的仪器基础上略加改进而成，它包括4台主要仪器，即湿化学实验室、光学显微镜、原子力显微镜和热与电传导性探测器。热与气体分析仪也是在“火星极地着陆器”（MPL）同样仪器的基础上改装的。该分析仪包括微分扫描热量计和质谱仪两部分。微分扫描热量计用于对土壤样品进行热分析，它有八个小容器，土壤样品被送入其中的一个后加以密封，对样品加热，观测记录土壤样品的吸热和散热过程。质谱仪则用于分析土壤样品加热后释放的挥发物。质谱仪也能对火星大气采样，进行成分分析。

热与气体分析仪（TEGA）包括微分扫描热量计和质谱仪两部分。微分扫描热量计用于对土壤样品进行热分析。质谱仪用于分析土壤样品加热后释放出的挥发物，还能对火星大气采样，进行成分分析。该仪器也是在“火星极地着陆器”原有仪器的基础上改装的。

表面立体成像仪（SSI）用于绘制高分辨率的地质图和机械臂作业区地图，进行多光谱分析和大气观测。它不仅继承了“火星极地着陆器”的技术，而且借鉴了2003年发射的勇气号和机遇号火星车上用的CCD技术。它可勘测着陆点处的地质情况，为机械臂挖掘提供作业区地图。并测量着陆地点地面以上2米高度内大气中的尘粒和云层，还可在蓝、红、近红外等波段拍摄立体图像；拍摄太阳图像用于研究大气的透明度；拍摄的天空图像用于测量气溶胶、尘粒和云层的特性；拍摄的着陆器图像用于评估大气中尘粒的沉积速率。

机械臂相机（RAC）直接使用了“火星极地着陆器”上使用的备份产品，它安装在机械臂腕关节处。用它来拍摄机械臂采集的土壤样品并可获得高分辨率图像，包括铲勺中的土壤样品、所挖出的坑槽中的土壤堆积物及坑槽壁上的土壤，以此用来分析土壤颗粒的类型和大小。

火星下降成像仪（MARDI）也属于“火星极地

着陆器”上使用的现成的（备份）产品。用于“凤凰”号着陆器下降过程中拍摄火星表面，勘察着陆点附近的地质情况。它是在探测器的防热罩脱落后开始工作，在着陆过程最后阶段最多可拍摄 20 张图像。

气象站（MET）是加拿大航天局提供的，也是唯一专门研制的新仪器，它由激光雷达和温度压力测量装置两部分组成。激光雷达固定指向上方，首次用来测量行星边界层，提供行星边界层中的云、雾和尘粒羽流的深度、位置、结构和光学特性。它有一根可伸展的杆，长度为 1 米，顶端安装有 3 个 E 型热电偶，测量靠近地表的大气温度；压力传感器装在恒温容器内，以保证压力测量精度。温度和压力的测量结果可用以了解当地大气的特性。

“凤凰”号着陆器是一个由三条腿支撑的平台，其中心是一个多面体仪器舱，舱左右两侧各展开一面八边形太阳电池阵。舱顶是仪器板，安装各种科学仪器的探头、通信天线以及机械臂。

“凤凰”号的起落架采用钛金属，起落架和控制软件之间可以很好地协调。造成 1998 年登陆者号着陆故障的原因，最有可能的解释就是协调不畅，起落架在空中就错误地做出了着陆动作。虽然此前的火星探测计划很简单，只是为了获取火星信息，但是凤凰计划的科学目标却是很明确的。即使“凤凰”号找不到任何有机物，这次航行还有很多其他重要的使命。它计划可以再次证明，受控登陆时采用推进式降落是可行的。与气囊技术相比，这种登陆方式，是更为精确的着陆技术，它可以将目标对准特定的着陆点，确定更为安全的着陆环境，可以用于未来的其他探索计划。

2005 年 8 月 NASA 发射的“火星勘察轨道器”在 2006 年 3 月成功进入环绕火星飞行的轨道，它为以后的“凤凰”号探测器在火星上的登陆搜集相关数据。在“凤凰号”发射前还有许多工作要做。其项目成员需要组装和测试飞船和登陆车的每一个子系统，以保证其能够满足设计要求。其他的一些工作还包括选定发射场地和准备飞船发射后如何对其进行操控。

2007 年 8 月 1 日欧洲空间局宣布，经与美国航空航天局协商，其“火星快车”探测器将监测美国凤凰号登陆火星的全过程。在下降过程中，“火星快车”将把一系列连续的信息流传到美国的“火星奥德赛”和“火星勘测轨道器”上。欧洲空间局表示，这次行动为国际合作和建立星际网络系统做出了很

好的榜样。欧洲空间局说，美国航空航天局之所以选择“火星快车”，是因为从理论上说它的椭圆型轨道能对凤凰号进行连续监视且能较长时间和它进行互动。

克服风险 成功着陆

“凤凰”号登陆位置选在火星北纬 $65^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 之间的冰冻北极区附近。之所以让它在火星北半球高纬度地区登陆，是因为以前的航天探测表明，火星北极周围一年四季都有白色极冠。如果说它是由二氧化碳气体凝结成的干冰，那么在 -125°C 以上就会升华成为气态，而那里夏季温度约在 $-80^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ 之间，说明不可能全是干冰，至少其中有一部分是由水冰构成的，故而在此处更容易找到以冰态存在的水。

在凤凰号发射前的准备工作中，最棘手的问题之一是选择着陆地点。与之前的勇气号和机遇号火星车不同的是，凤凰号选择定点勘测方式，所以科学家必须要选择一个最佳的着陆点确保它能长久进行勘测工作。在“火星勘测轨道器”进入火星轨道后，美国主要依靠它载的高分辨率成像科学实验仪为凤凰号选择工作安全、有科学价值的着陆点的。科学家以前曾选择好了凤凰号的安全着陆点。然而，“火星勘测轨道器”拍摄的照片显示，预期的着陆地区石块比较集中，布满了许多直径不足一米的石头。它们会影响其安全或太阳能电池翼的工作。一旦探测器降落在这片区域，将很有可能会发生倾覆，或妨碍着陆器上的太阳能电池翼接收阳光，而高功率的电池翼对于着陆器的能量供给是至关重要的。无线电信号从地球到火星需要 10 多分钟，因此地球控制中心是无法在“凤凰”号下降过程中指令其躲避障碍物的。

“凤凰”号选择在火星极区着陆还因为着陆期间那里的土壤在漫长的冬天之后刚好暴露在阳光之下，地表和大气之间开始相互作用，这对了解火星气候的历史是非常重要的。当然，在火星极区的夏天没有日落，所以“凤凰”号能有最大的日照时间，这有利于太阳能电池供电，阳光对于将蓄电池保持在温暖的状态也是重要的。火星极区富含冰的土壤可能是微生物生命可以保存的唯一地方，在这个区域取样可以深入了解火星的可居住性。

“凤凰”号面临的最大风险是如何能安全着陆在火星北极。自美国航空航天局在 20 世纪 70 年代采用海盗号探测火星以来，凤凰号将不像“火星探路者”、勇气号和机遇号火星车用气囊着陆火星，而

首次采用减速推进器的制动作用着陆在火星北极地区。此前最近一次尝试用减速推进器着陆火星是1999年12月初发射的“火星极区着陆器”，但登陆失败了，其主要原因是当时得出的火星地形信息有误，导致减速推力器提前关闭，最后“火星极区着陆器”直接撞上了火星而四分五裂。

这次“凤凰”号着陆没有用气囊，原因是“凤凰”号质量较大，达350千克（“勇气”号只有180千克），用气囊难于保证软着陆的安全。假如采用此法着陆，需要更大、更重的气囊，这样势必减少用于探测的载荷质量。在“凤凰”号进入火星大气层之前，欧洲“火星快车”利用其分光计测量火星大气的密度，因为火星大气的密度会影响凤凰号进入火星大气层的轨道路线。“火星快车”还观察凤凰号进入火星大气层途中对大气的加热情况。美国“火星奥德赛”则通过姿态调整，使它的高频天线面向凤凰号，从而在凤凰号降落过程中向地球传回有关信息。科学家已经精确计算了“火星奥德赛”的轨道位置，以确保他们能和凤凰号探测器沟通顺利。美国喷气推进实验室专家说：“如果没有这些调整，当凤凰号着陆火星时正好在火星的背面。”

2008年2月6日，美国“火星勘测轨道器”上的推进器点火，为观察凤凰号着陆火星而调整其运行轨道。2008年4月对它又进行了一次点火。当凤凰号探测器着陆火星时，“火星勘测轨道器”可协助记录凤凰号探测器的通信情况。

“凤凰”号装备有以脉冲方式工作的减速推力器，供最终着陆阶段使用。它采用超轻型的着陆系统，以使探测器能携带更重的科学有效载荷。与以往发射的火星探测器一样，凤凰号也采用隔热屏蔽壳来减缓其高速进入过程，然后通过超音速降落伞进一步把速度降低到201千米/小时。着陆器随后同降落伞分离，并使脉冲式下降火箭发动机点火工作，以在用3条支腿着陆之前把速度降至约8.8千米/小时。

这次科学家非常小心地设计了凤凰号的着陆过程。让工程师格外费心的是凤凰号降落时使用的减速推力器系统，工程人员在凤凰号上分3处安装了12台发动机，它们可以不同长度的脉冲快速点火推进，在降落伞打开后，它们必须坚持40秒钟，才能保证凤凰号在火星上实现“软着陆”。其他棘手的问题是，在进入火星大气、下降和着陆中，在主降落伞打开时如何处理风、加热发动机和校准质心的速

度等。之后，凤凰号要改变重心以伸出朝向火星的支撑“腿”。

当凤凰号“脚”底的传感器探测到火星着陆器触地时，其上的加有肼燃料的减速推力器就得马上关了。凤凰号和地面上的控制员一分一秒地等待着火星上扬起尘土，时间长达15分钟，缓冲发动机有可能将尘土冲到火星稀薄的大气中。

凤凰号着陆后先用2~5分钟展开太阳能翼来产生电力（如果未展开，缺少电力支持的凤凰号最多能活31个小时）。此外，其健康状况发送给在此区域飞越过的“火星勘测轨道器”或“奥德赛”，接着，凤凰号开始度过在火星上的第一晚。

让凤凰号穿过火星大气层降落到火星地面是此任务中最令人恐怖的阶段，美国航空航天局喷气推进实验室的凤凰号项目经理戈德斯坦说，“我们有7分钟的恐怖。将这样一个交通工具从19000千米/小时的高速和高热（经受1426°C高温）下变成8.8千米/小时度，且只行进16090千米，是一件不容易的事情。”

在距离火星表面只有14分钟时（美国东部时间5月25日19:39），“凤凰”号与巡航级分离，并把装有隔热屏蔽壳的一面转向火星，“凤凰”号因此与地球的通信静默3分钟。当凤凰号距火星地面125千米时（19:46），凤凰号进入稀薄的火星大气层，大气的摩擦力使其减速；在19:50（距火星表面13千米）时，降落伞展开，该伞要在175秒内使凤凰号从1609千米/小时减至201千米/小时，与此同时还抛掉了隔热屏蔽壳，使着陆雷达开始工作，着陆器支撑“腿”伸开；当它到达距火星表面965米时与降落伞分离；在距表面570米时减速推力器点火40秒，使着陆器进一步减速；在距离表面12米（速度为2.4米/秒）时，着陆器以恒定速度下落。当传感器探测到接触表面时缓冲火箭熄火。

在下降着陆过程中，着陆器通过X和UHF两种频段与地面或环火星轨道上的轨道器保持无线电联系。每种频段各有3副天线，均匀分布在隔热屏蔽壳的上钟形罩上，以保证在整个下降着陆阶段与地球的通信联系。凤凰号着陆时距地球 2.736×10^8 千米，其发送信号15分钟后从火星传回地球。

凤凰号着陆几乎达到无懈可击的地步。唯一的意外是其打开降落伞的时间较原计划晚了7秒钟，造成凤凰号稍微偏离发射方向的“靶心”目标区域

凤凰号在一片撒落着小圆石大小岩石的开阔浅谷 3 条“腿”着地。这些岩石不会对其构成任何威胁。

凤凰号成功登陆火星北极的过程被正在火星上空飞行的“火星勘测轨道器”拍摄下来，这也是人类探测器首次拍摄到另一个探测器最后的着陆过程。在所拍摄的图片中，可以看到凤凰号正在依靠减速伞进入火星大气。当时“火星勘测轨道器”正在距火星表面 310 千米高处运行，而凤凰号刚刚打开减速伞不久。图片里，凤凰号直径达 10 米的减速伞已经完全打开，下方是摇摆的凤凰号，中间隐约可见的是连接两者的绳索。

2008 年 5 月 25 日 19:53(美国东部时间)，凤凰号在火星北纬 68°、东经 234° 的瓦斯蒂塔斯-伯里利斯平原上成功着陆。此后，质量 350 千克的“凤凰”号在原地等候了约 15 分钟，待着陆时掀起的尘埃落定后，顺利展开了太阳能电池翼，升起了气象天线，解开了覆盖机械手上面的保护装置，并于 2 小时后传回第一批图片，其中一张显示探测器 1 条“腿”站立在火星表面，另一张图显示其太阳能电池翼已经展开，以及几张清晰的火星北极表面图片。

“凤凰”着陆后的探测情况

2008 年 5 月 25 日 19:53(美国东部时间)，凤凰号登陆火星北极当天，通过“火星奥德赛”发回的第一张火星表面图片显示的是已成功展开的太阳能电池翼、底部支架和非常类似于地球北极地区表面的火星北极表面。它是由表面立体成像仪拍摄的，这张接近彩色图片的颜色是从两种滤色镜中形成的，一种是波长 450 毫微米的紫罗兰色滤色镜，另一种是波长 750 毫微米的红外线滤色镜。

在第一天传回的首批图片中还有：一个发亮的不明白白色物体，这有可能是火星上的一块大石头，也可能是凤凰号着陆过程中所抛弃的部件；凤凰号自己的影子；凤凰号的机械手；远处的低地，它或许最终在帮助科学家确定凤凰号在火星表面的位置起到重要作用；凤凰号的气象仪天线；凤凰号周围的火星岩石。

着陆 22 小时后，“火星勘测轨道器”在空中拍下了一张凤凰号在火星上的彩色照片，并发回地球。在传回的照片中，照片中凤凰号如同一只蓝色蝴蝶停留在红色的火星表面，显示出凤凰号已经展开的太阳能电池翼；一个明亮的白色物体在伸向地平线的远处清晰可见，它可能是凤凰号的防热屏蔽壳，它

在着陆不到一分钟前随降落伞一起与凤凰号分离，其他离该着陆器更近区域的照片显示一个像棉被一样的多边形表面，其特点是低洼、微微下沉。凤凰号项目首席科学家彼得·史密斯说：“(从照片上看)，凤凰号的工作环境非常理想，那里看上去可以挖掘，周围只发现了几块零星分布的岩石。”

2008 年 5 月 27 日，凤凰号传回了气象仪记录的第一份火星天气报告，包括火星气温、气压和风速等。气象仪是在凤凰号着陆火星后一小时内被激活，开始对火星天气变化进行持续监测。第一份传回地面的数据是对火星天气连续 18 小时监测的结果。根据这些数据判断，火星目前天气晴朗，着陆点周围环境的最低温度出现在清早，为-80℃，最高温度出现在下午，为-30℃。平均气压为 8.55 毫巴，不到地球上海平面气压的 1%。风速为 32 千米/小时。

在当天还传回的一批新火星图片，其中显示了更多有关周围火星地貌，包括一张彩色图片，并能看出，凤凰号位于火星表面一处山谷边缘，这里是进行挖掘工作的理想位置。对科学家们根据凤凰号表面立体成像仪拍下的快照合成的 360 度全景照片来说，这张彩色图片可以说是“添色不少”。

5 月 31 日，凤凰号的机械手首度触及火星地面，在火星表面“雪女王”目标区一个临时被命名为“雪人”的地方留下了机械手在火星上的“第 1 痕”，这个地方就在距离最终取样用来进行研究的地区的旁边，为此后的采集土壤和向其他科学仪器传送土壤样品作好了准备。凤凰号周围具有特色的东西和地点被用神话故事和神话人物的名字命名。由于机械手形状特殊，所以它在火星留下的“第 1 痕”类似于人类脚印。凤凰号的机械手相机也拍摄了“雪女王”目标区的大量图片，并显示凤凰号下方可能存在一块裸露于地表、直径约 90 厘米的冰。史密斯说：“我们曾担心它(冰)可能在地下 30 厘米、40 厘米或 50 厘米深处，现在，我们确信可以较为轻松地挖到冰块。该机械手是于 5 月 28 日伸展开的。

6 月 2 日，凤凰号的机械手掘起了火星上被科学家命名为“Knave of Hearts”的地方的第一铲土。掘土动作完成后，地面控制人员发送指令，首先让机械手相机给土壤拍照，然后指挥机械手把土倒在附近指定地点。在这铲土以及挖土的位置附近发现有些亮晶晶的物质，这些发亮的物质可能是冰或者是盐。

6月3日,凤凰号进行了第2次“挖掘、倾倒”演练,这是为了在凤凰号正式挖掘探测前,科学家能够熟练的掌握火星上掘土的技巧,因为负责掘土的科研组感觉对挖掘和倾倒过程还不太适应,还没真正掌握这种方法。另外,在第1次试掘土中发现,铲中的土壤没能倾倒干净,为了谨慎起见,又进行了第2次试掘土,但挖得更深一些,同时用机械手相机进行了拍照。史密斯说,这就像是指挥一个小男孩在沙滩上用小铲铲沙子一样,所不同的是,火星与地球相距遥远,地面控制人员就像蒙着眼睛在指挥,因为如果早晨向凤凰号发送一个指令,要到晚上才能得到反馈回来的数据。

当天,科学家还通过凤凰号搭载的光学显微镜观察到最高解像度的火星尘埃和沙粒影像,这是人类历史上首次清晰看到地球以外行星的尘埃影像,清晰度比勇气号和机遇号火星车之前拍摄到的照片高10倍。得到的高解析影像显示出火星矿物的多样性,这在行星探测历史上是空前的。这些微粒很细小,不到人类头发丝直径的 $1/10$,其中一个直径3毫米的硅颗粒能够看得清清楚楚。由于凤凰号着陆时激起了不少沙尘,因此一些硅等颗粒物扬起后下落,暴露在火星表面,光学显微镜拍摄到了这些裸露颗粒的精细图片。图片中的颗粒物呈现出各种不同的形状和颜色,一些颗粒外表比较平滑,颜色偏暗,与火星地表颜色相似;还有一些颗粒呈白色,结构与盐颗粒相似,它们处于火星地表还是较深层土壤中还有待分析。

经过2次试挖后,凤凰号于6月6日开始用机械手正式挖起第1铲火星土壤,并将土送入所携带的热和演化气体分析仪上,“倒”入4号微型烤箱中。热和演化气体分析仪共有8个微型烤箱,每个烤箱都装有网筛,主要防止大块土壤堵塞烤箱的狭窄入口。这些烤箱可以烘焙、“嗅探”火星土壤样本,然后分析仪可以对土壤挥发出的不稳定成分如水分等进行分析。这一铲土是在其北侧一个被地面科学家称为“小熊”的地点挖出的,约2—4厘米深,获取的土壤样本呈现小块状,略带红色。机械手挖掘动作设计精巧,保证了挖起的土壤不会过多,以免递送到科学设备中时弄得到处都是土。分析仪器接收到的这批土壤样本占挖掘铲的 $1/4$ — $1/3$,“恰到好处”。但传回的图像和数据显示,凤凰号虽然挖土成功,但没有把土“倒”入4号微型烤箱。

6月9日,科学家尝试处理凤凰号从火星表面铲起的火星土壤,但他们发现火星土壤块儿太大,无法透过滤网进入凤凰号携带的实验室中,似乎是土壤样本黏性过大,一旦将它们成块地放在上面,土壤不能通过滤网。泥土成块的原因可能有两个,一是来自凤凰号推进器或融冰的湿气注入到探测器下面的区域,二是火星土壤中的盐分可能起到了黏合剂的作用。

经过几天的努力,凤凰号机械手采集的土壤样本终于在6月11日成功进入4号微型烤箱中。微型烤箱的网筛安装有振动器,可以让火星土壤的细小颗粒通过,同时防止大块土壤直接落入烤箱造成堵塞。几天来,地面控制人员不断发送指令,让网筛的振动器加强振动频率,试图将堵在门口的土壤“晃”进去。可能是震动的积累效果发挥了作用,或者土块放置在网筛上数天后发生了轻微变化,6月11日,4号烤箱已装满了土壤样本,这是凤凰号获得的用于科学分析的第1箱火星土壤样本,可以进行这项任务的第1项试验。烤箱可以烘焙、“嗅探”火星土壤样本,然后分析仪可以对土壤挥发出的不稳定成分如水分等进行分析。

6月12日,美国航空航天局说,凤凰号传回的图片显示,其机械手已经成功地把火星土壤样本“洒”到了显微镜电化学与电导率分析器的光学显微镜的样本盘上。这是凤凰号的光学显微镜接收到的首个分析样本。该光学显微镜主要用于分析矿物颗粒样本。

6月13日,美国航空航天局收到了凤凰号传回的光学显微镜下的火星土壤图片。这是迄今人类看到的火星土壤的最精细图像。传回的光学显微镜拍摄的图片中包含近1000个单独的土壤颗粒,最小的还不到头发直径的 $1/10$,其中至少有4种截然不同的矿物颗粒,包括一些较大的黑色玻璃状颗粒、尺寸稍小的略带红色的颗粒等。能够以这种前所未有的精度研究火星土壤让人“大开眼界”,这些土壤颗粒很可能记录了火星的历史。

6月17日,凤凰号开始在名为“国家公园”的区域挖掘新的壕沟——取名为“白雪”,科学家早已瞄上了这个区域,希望从中获得重大科学发现。

6月19日,凤凰号火星探测项目研究人员说,凤凰号在火星北极地表挖掘时发现的白色物质就是冰。凤凰号6月19日检测15日挖掘的沟槽时,发

现沟槽中的一些白色物质碎块已完全消失，这一现象表明，白色物质是冰，太阳辐射导致冰蒸发，盐不可能发生这种变化。

6月20日，美国科学家表示，他们分析凤凰号发回的一系列照片后确认，火星北极区域表面下存在水冰。6月15日，凤凰号在挖掘火星表面的红土时发现了一些发亮的小方块，在阳光的照射下，四天后这些小方块消失了。科学家已经排除了这些小方块是干冰或盐的可能性。因为盐不会蒸发；而二氧化碳需要更低的温度才能变成固态(干冰)。

不过，史密斯说，火星存在冰的事实并不能说明火星的环境是否适宜生命存在。为了判断火星极地环境是否适宜生命存在，科学家希望通过凤凰号对火星的冰块和土壤进行采样研究，以发现火星表面是否存在碳酸盐或硫酸盐物质，因为这2种物质的形成都离不开液态水的作用。

6月26日，为考察火星上是否含有碳，凤凰号8英尺长的机械臂在一个名叫“仙境”(Wonderland)的地方抓取了一些泥土放置于随携的实验室，就像一个化学家那样已将火星土壤与地球上带来的水在一个大烧杯内混合，并且搅拌。烧杯内的传感器会检验土壤的pH值和内含养分。初步结果显示火星土壤的pH值介于8到9之间，研究者说，pH值小于7意味着溶液呈酸性，大于7则呈碱性。凤凰号还在火星土壤内检测到镁、钠、钾和氯化物等成分。地球上的芦笋、青豆和芜菁等植物，以及一些亲化化合物的细菌能够在这样的土壤中生存。美国科学家后来宣布，通过凤凰号上的显微镜电化学与电导率分析器，首次检测出火星北极土壤中含有盐。这些土壤呈碱性，其中含有一些生命所需的矿物质，还含有镁、钠、钾和氯化物，它们都是植物生长所必需的营养成分。此发现让科学家更加相信火星北极平原具备支持原始生命的条件。这项最新发现，增加了火星北极平原可能具有适宜原始生命生存条件的可能性，不存在阻止生命的条件。另一项火星土壤加热实验发现了疑似含有水蒸气的迹象，这说明火星土壤过去可能和水发生过作用。

“没有什么不适宜生命存在的，实际上，火星土壤显得非常友好。”美国塔夫斯大学科学家代表Samuel Kounaves对火星新发现发表评论说，“它没有毒性，一点都没有。”迄今为止，凤凰号没有在火星上发现生命的基石——有机碳，登陆器发现

了火星土壤下冰存在的确切证据后，科学家一致认为液态水、稳定的能量来源和含碳化合物是缔造可居环境的必要条件。“这是典型的地球土壤，除了不含有机物以外。”Kounaves在亚利桑那州图森市举行的远程电话会议上说。亚利桑那州大学William Boynton教授说：“火星土壤显然在过去曾与水结合。”科学家旨在寻找有机物的加热实验——把火星土壤加热到高温，从水蒸气中探测气体——并没有产生有关碳存在的证据。他们打算进一步研究另一批土壤样本，该样本取自火星表面土壤的深处。

6月28日，凤凰号在“仙境”区域扩大挖掘了“白雪”沟槽并刮起了几小堆冻土，每一堆大约有2—4茶匙冰。6月29日，科学家用凤凰号的表面立体成像仪拍摄了这些刮下的冰屑，认为它们含有“冰层和土壤分界面接近完美的样本”，并命令机械手铲起一些碎屑用仪器进行分析，这是凤凰号首次把纹理相当细密的物质撒落到热和演化气体分析仪中进行分析，而之前此仪器烘烤了火星土壤样品，并分析了其组成。热和演化气体分析仪对水迹象特别敏感，并能确定冰的熔点。

“凤凰”号7月6日晚发回的数据证实，“凤凰”号通过其机械臂成功递送了第二份火星土壤样本，供“凤凰”号携带的湿化学实验室进行分析。此后，美宇航局科学家将对这次样本测试的结果同湿化学实验室两周前分析的第一份火星土壤样本的结果进行比较。湿化学实验室是““凤凰”号携带的显微、电子化学暨传导分析仪(MECA)的组成部分。“凤凰”号7月7日的主要任务是测试用以碾碎冰状物质样本，将其放入机械臂顶端的方法。美宇航局科学家可根据在此过程中、以及之前和之后拍摄的照片，对这一方法进行评估。如果测试活动进展顺利，科学小组计划利用其去收集下一份样本，这份样本将被递送至“凤凰”号的烘焙和嗅闻仪器——热力与先进气体分析仪中。

科学家将继续利用“凤凰”号挖掘火星土壤进行实验，以确定土壤中的一些冰在过去更温暖的气候环境中是否曾呈现液态。这是实现“凤凰”号任务的既定目标的一个鼓舞人心的步骤，因为此次任务的目的是全方位研究火星的水的历史，并确定火星北极土壤是否可以支持生命存在。

(北京天文馆 100044)