

空间探测技术当前成就及未来发展方向

文 / 党朝辉（装备学院）

“这是一个来自遥远的小小星球的礼物，它是我们的声音、科学、形象、音乐、思想和感情的缩影。这个地球之音是为了在这个辽阔而令人敬畏的宇宙中传播我们的希望、我们的决心和我们对遥远世界的良好祝愿。”

——“旅行者1号”空间探测器携带的地球名片

月球之后还有火星

人类最感兴趣的天体，除月球之外，恐怕就是火星了。这颗橘红色的星球是离地球最近的行星，在太阳系由内往外数排名第四。火星的直径为地球的一半，自转周期与地球相近。火星上有较为稀薄的大气，其主要成分是二氧化碳。火星两极附近有水冰和干冰组成的极冠。

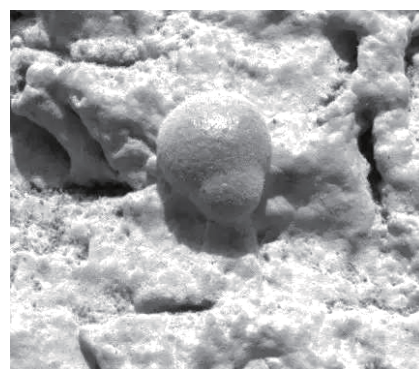


图1 2007年ESA Rosetta空间探测器飞越火星时拍下的照片

美国的水手4号于1964年12月28日发射升空，这是有史以来第一枚成功到达火星并发回数据的探测器。水手4号于1965年7月14日在火星表面9800千米上空掠过火星，向地球发回了21张照片，此后又在环绕太阳轨道上花费三年时间对太阳风进行探测。



图2 火星表面景观：二氧化硅尘埃



火星表面景观：赤铁矿结核

截止2016年底，火星是除了地球以外人类了解最多的行星，已经有超过6个国家或组织、共计55枚火星探测器被发射过。其中，美国和俄罗斯是历史上发射火星探测器最多的两个国家，分别有25颗探测器和22颗探测器被发射过，几乎占据了人类火星探测任务的85%以上。然而同时火星探测也充满了坎坷，大约一半的探测器，特别是早期发射的探测器，都没有能够成功完成它们的使命。

| 国家 | 探测次数 | 成功次数 |
|-----|------|------|
| 美国 | 25 | 19 |
| 俄罗斯 | 22 | 3 |
| 欧盟 | 5 | 3 |
| 印度 | 1 | 1 |
| 日本 | 1 | 0 |
| 中国 | 1 | 0 |
| 总计 | 55 | 26 |

图3 火星探测数据统计

俄罗斯是世界上除美国外进行火星探测最多的国家，在其航天历史上，一共发射了23颗火星探测器，其中一颗是与欧盟合作完成的。在其发射的众多探测器里，只有3颗算得上基本成功，有1颗还只能算部分成功（实现成功着陆，却没有取得有意义的成果），整体成功率不足13%。日本于1998年曾发射第一颗火星探测器希望号，但该探测器未能成功到达火星。萤火一号是中国火星探测计划中的第一颗探测器，然而不幸的是，该探测器在2011年11月，由俄罗斯火箭搭载时发射失败，未能到达火星。值得称道的是，尽管印度航天总体实力不及上述几个国家，但2013年发射的曼加里安号火星探测器，历经种种曲折，最终成功到达火星轨道，成为历

史上继美国、欧洲航天局、俄罗斯之后第四个成功到访火星的国家。

空间探测向深空迈进

伴随着一次次航天任务的实施，航天技术的方方面面都更加趋于成熟，各种新技术、新方法被人们率先应用在新的航天实践中。自从美国完成登月壮举后，人类探索的脚步开始迈向更遥远的空间。在航天领域中，近地空间是指从地球到月球之间的这段空间，这段距离是38万公里。而在地月之外，太阳系还有广袤的空间需要人类去探索，那里被称作深空。

美国是目前在深空探测领域实力最强的国家。美国除了对前面已经提到的对月球和火星实现探测外，还对其它太阳系内的天体进行了探测。这里给出了一张统计表（图5），列出了美国历史上比较著名的几次深空探测任务。由此我们可以看到，美国在深空探测领域已经完全走到了世界的前列，成为名副其实的航天超级大国。

在美国的深空探测任务中，除了对已知的太阳系八大行星探测外，还对彗星以及小行星带进行了探测。国际彗星探测器3号（International

| 时间 | 航天器 | 完成任务 |
|------|--------|-----------|
| 1962 | 水手2号 | 金星 |
| 1964 | 水手4号 | 火星 |
| 1969 | 阿波罗11号 | 载人登月 |
| 1972 | 先驱者10号 | 木星探测 |
| 1973 | 先驱者11号 | 土星探测 |
| 1977 | 旅行者1号 | 飞出太阳系 |
| 1997 | 探路者号 | 登陆火星 |
| 2003 | 勇气号 | 登陆火星 |
| 2004 | 信使号 | 水星 |
| 2005 | 深度撞击号 | “坦普尔1号”彗星 |
| 2006 | 新视野号 | 冥王星 |
| 2007 | 黎明号 | 小行星带 |

图5 代表性的美国深空探测历史一览表

Sun-Earth Explorer-3）是美国和欧盟联合研制的一个深空探测器。该探测器1978年发射入轨，并于1981年飞到了预定的太阳和地球之间的拉格朗日点L1上。随后，在1983年时，为了实现对彗星的探测，它首先飞到了月球附近，利用月亮的引力将自己加速。到1985年时，它成功实现了对贾克比尼彗星的探测。接着，它于次年又对大名鼎鼎的哈雷彗星进行了探测，并第一次穿越彗星尾部探测了其组成成分。

本来到此为止，该卫星的任务已

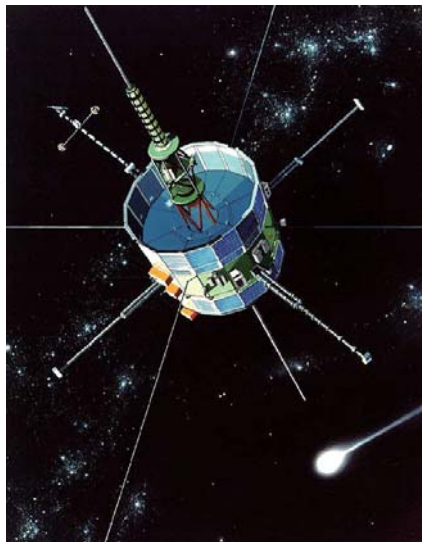


图6 国际彗星探测器3号

经全部完成。但考虑到卫星上的燃料还没有耗尽，美国NASA的首席轨道动力学专家罗伯特·法库尔(Robert W.

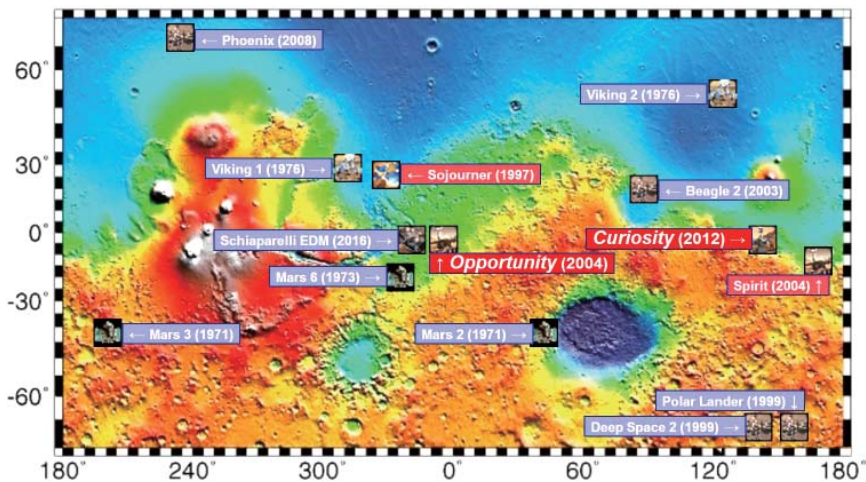


图4 历史上的火星着陆点

Farquhar, 1932—2015) 教授计算出了一条复杂的轨迹, 使这个卫星在 14 年后, 也就是 2000 年的时候成功降落在了爱神星小行星上, 成为第一颗造访小行星的人造物体。然而, 这个神奇的传说还没说完。当时, 小行星离我们地球要远远大于火星到我们的距离, 因此在该探测器到达爱神星的此后 14 年时间里, 我们都已经跟它失去了联系。然而, 令人惊讶的是, 爱神星在 2014 年的时候到达了离地球最近的位置, 几乎是在月球附近不远。美国 NASA 的科学家通过地面指令注入的方式, 向爱神星发送了信号, 让所有人大吃一惊的是, 这颗探测器居然还活着, 它向地球传达了若干信号。之后, 这颗小行星最终载着彗星探测器离开了地球。现在看到的的就是这颗大名鼎鼎的彗星探测器那复杂而优美的星际轨迹。

“罗塞塔” 着陆彗星

除美国外, 欧空局也已在深空探测方面取得一定进展。2004 年 3 月 2 日, 欧空局的“罗塞塔”(Rosetta) 彗星探测器由阿丽亚娜—5 G 型火箭运载, 从法属圭亚那库鲁航天中心升空, 预期着陆编号为 67P 的彗星。“罗塞塔”彗星探测器重约 3 吨, 大小约 12 立方米。它共装备了 12 个科学仪器以及一个叫作“菲莱”(Philae) 的着陆器。“罗塞塔”在轨飞行期间, 飞越了火星和数个行星。2014 年 8 月 6 日, “罗塞塔”接近目标彗星, 并经过一系列轨道机动稳定在距离彗星 10~30km 之间的绕飞轨道上。当年 12 月, “菲莱”着陆器成功着陆彗星, 成为人类历史上第一颗着陆彗星的探测器。然而, 由于着陆位置不够理想, “菲莱”的太阳能电池板无法接收到太阳光, 从而导致其电池两天后耗尽电量。在这之后, “罗塞塔”多次尝

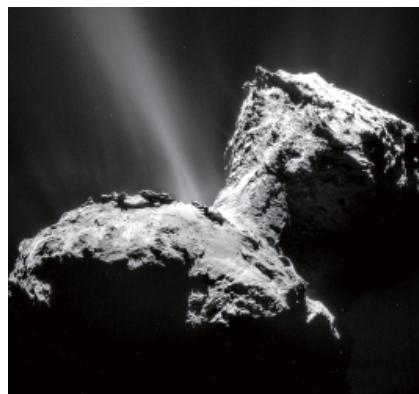


图 8 “罗塞塔”探测器于 2015 年 1 月拍摄的彗星 67P 照片



图 9 “罗塞塔”彗星探测器及其着陆器“菲莱”

试与“菲莱”通信, 并于 2015 年 7 月建立数次短暂交流。2016 年 7 月, 由于长时间无法得到太阳能的补充, “罗塞塔”的通信模块不得不与没有电力供应的“菲莱”着陆器彻底中断联系。2 个月后, “罗塞塔”也终止任务并着陆在了彗星上。

“旅行者 1 号”飞出太阳系

人类深空探测历史中的一项里程碑意义的事件是“旅行者号”飞出太阳系。“旅行者号”探测器共包含 2 颗卫星, 分别为旅行者 1 号和 2 号探测器。它们于 1977 年 8 月 20 日和 9 月 5 日, 先后发射升空。“旅行者号”探测器均携带核动力电池, 因而可持续工作到 2025 年左右。2012 年 8 月中旬, 通过接收卫星发射回来的信号,

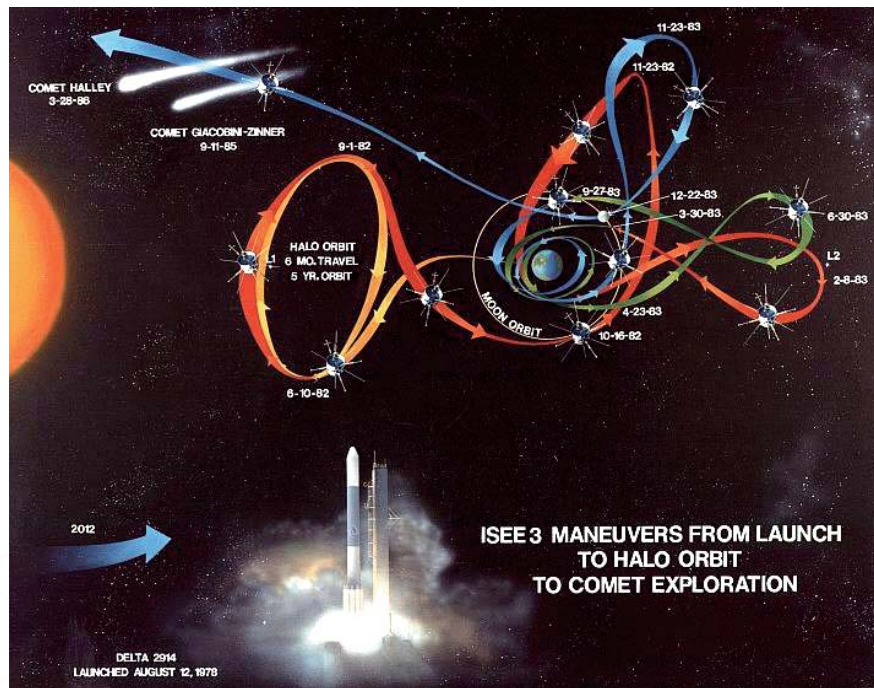


图 7 国际彗星探测器 3 号的飞行轨迹



图 10 “旅行者 1 号”探测器

科学家发现“旅行者 1 号”已突破太阳系边缘。35 年时间里“旅行者号”已飞行了 178 亿公里。“旅行者号”上携带了刻有人类文字的金属碟片，其中里面有一段文字：“这是一个来自遥远的小小星球的礼物，它是我们的声音、科学、形象、音乐、思想和感情的缩影。这个地球之音是为了在这个辽阔而令人敬畏的宇宙中传播我

们的希望、我们的决心和我们对遥远世界的良好祝愿。”从某种意义上说，“旅行者号”承担的不仅是美国人的航天梦，也承担了人类未来在宇宙星际间延续生命的使命。

深空探测的技术挑战

为实现深空探测，需要解决众多工程技术问题。主要有以下几项挑战。

深空探测的第一个挑战是：大火箭技术和精确的轨道控制技术。大火箭技术很好理解，因为深空探测时需要卫星至少达到 11km/s 的相对速度，以摆脱地球引力控制，而这需要大推力火箭才能实现。然而，大火箭技术不是每个国家都具备的。目前，只有美国、俄罗斯的火箭具备火星探测能力，中国、日本仅具备月球探测的实力。深空探测所需要的技术储备相对较多，在本国技术不能完全达到要求

时可以借助合作方式实现任务实施。然而，完全利用别人的技术终究不是可靠之举，这也是我们国家在大飞机计划之后又提出大运载计划的原因。这里的大运载就是大推力火箭的意思，目前由航天一院承担研制任务，也就是长征五号火箭。

深空探测的第二个挑战是：遥远距离带来的通信延迟。为了说明通信延迟到底有多严重，我们做一个简单计算。首先，我们知道光信号的速度是每秒 30 万公里。作为对比，我们先来看看月球探测面临的通信延迟问题。月球离地球的平均距离是 38 万公里，从月球附近的探测器发回地球的信号，至少要经过 1s 钟时间。这 1s 钟时间的延误虽然看上去不太严重，但实际上已经给航天器的测控带来一定的影响。火星探测时的延迟有多久呢？火星离地球最近处也有 5500 万公里，从地面测控站上发送给火星探测器的指令至少要在 3 分钟后才能到达。而如果考虑探测器在到达火星时，地球和火星的距离已经有 1.5 亿公里远，此时的通信延迟将高达 10 分钟。因此，火星探测工程要求火星探测器必须具备自主导航、控制能力，可以在不依赖人类远程遥控的前提下自主形成控制指令。这对一个国家在电子技术、通信技术、控制技术方面的综合实力是一个巨大的考验。

深空探测的第三个挑战是：着陆器技术。如果没有这个技术，我们就只能在火星轨道上对火星进行远距离观测，而无法登上火星对其实地考察。着陆器技术本质上是火箭技术的逆向使用，也就是通过火箭的反推使得卫星缓慢降落在地面的技术。

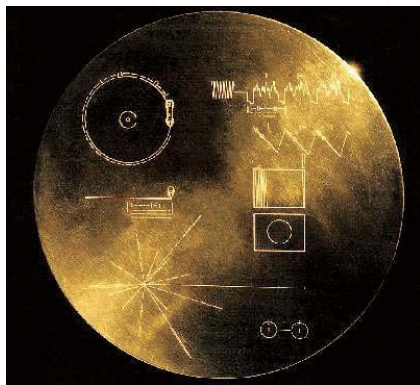


图 11 “旅行者 1 号”上携带的刻有人类文字的金属碟片

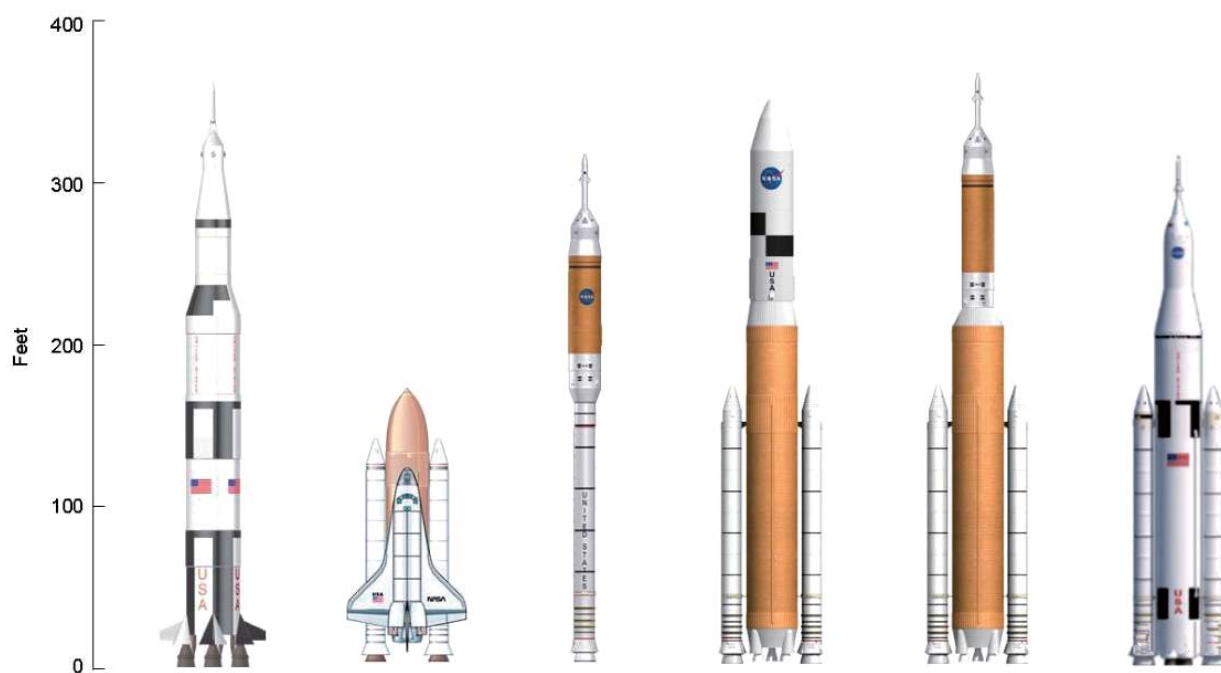


图 12 美国大火箭排名,从左到右依次是:土星 V 号、航天飞机、阿里亚娜 I、阿里亚娜 V、阿里亚娜 IV、“航天发射系统”的“Block”1 型火箭

未来深空探测计划

下面我们来看看未来各航天大国都还有些什么样的深空探测计划。

(1) 美国

美国的主要深空探测计划及时间节点是: 2018—2021 年实现重返月球, 2021—2025 实现月球基地建设, 2028—2035 年进行载人登陆火星, 2035 年后进行太阳系外探测。什么叫重返月球呢? 实际上就是重新实现载人登月。美国早在上世纪六七十年代已经实现了载人登月。按道理, 美国早已具备了载人登月的技术和实力。但是, 载人登月是一项非常复杂的航天工程, 其所耗费的物资也是非常庞大的。美国虽然有这个技术, 但是否能够得到美国纳税人的认可, 耗费巨资实施月球登陆这件是否有好处尚不确定的事情, 则不一定。然而, 实现

对月球的持续观测和保有登月的技术, 对于未来可能开始的星际殖民是有潜在好处的。一旦未来人类的航天实力达到了向其他星球的殖民能力,

各个国家之间的竞争就不可避免。而美国绝不会放弃他在航天领域以及深空探测方面的领头地位。

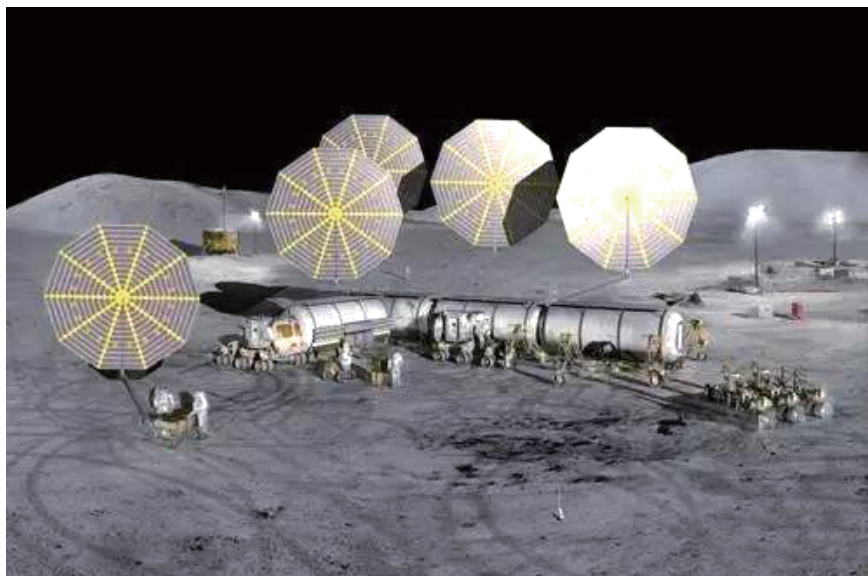


图 13 美国“重返月球计划”中的月球基地设计方案

MISSION TIMELINE

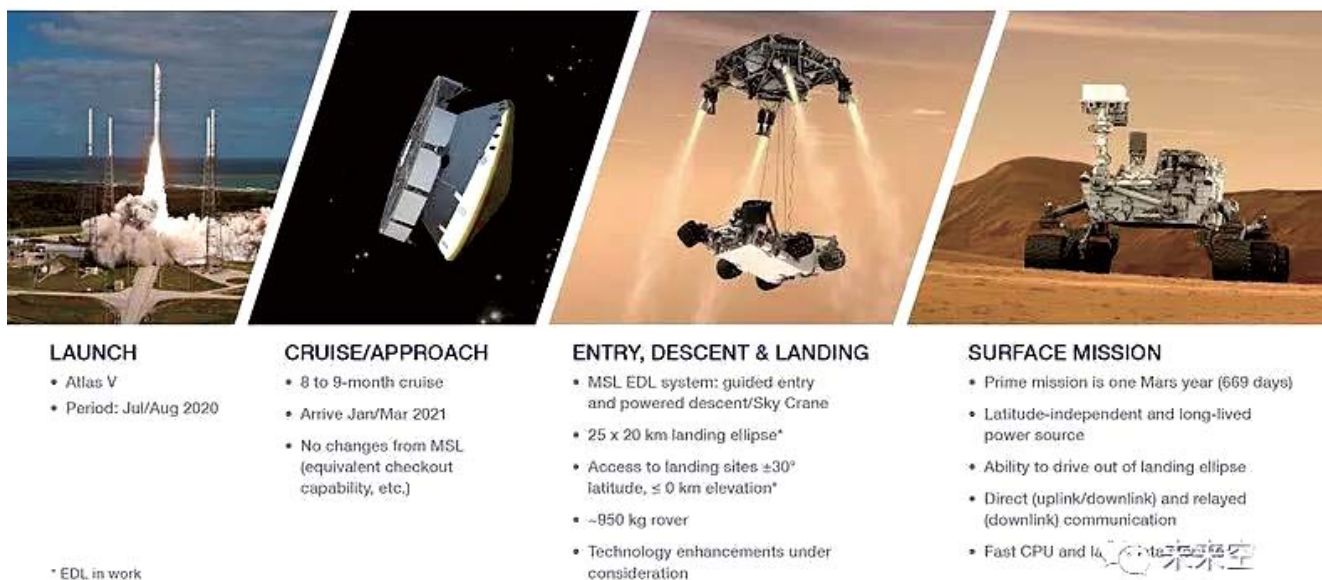


图 14 美国 Mars 2020 任务时间节点

(2) 俄罗斯

俄罗斯当然也不甘示弱，也制定了雄心勃勃的载人登月和登火计划。其大致计划为：2025 年前实现载人登月，2028—2032 年建立月球基地，2035 年后进行载人登陆火星。

(3) 欧空局

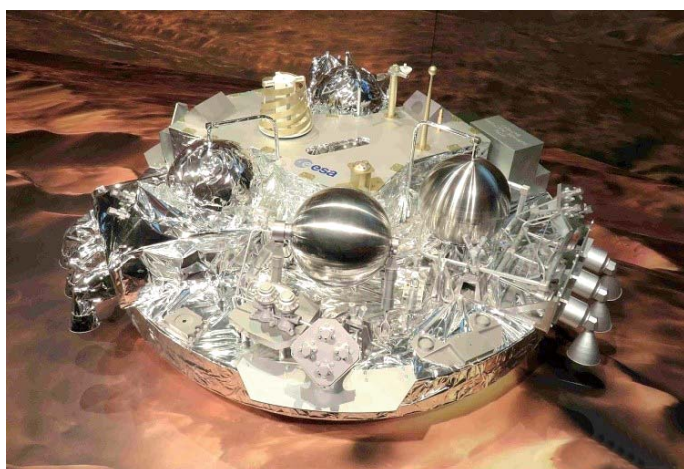
欧洲航天局，是欧盟下属的航天机构，是欧洲多个国家的联合航天部

门，其实力可以和美国与俄罗斯相媲美。欧洲航天局也有载人登月和登火的计划，并且其计划实施的各个阶段相对来说更加详尽、也更加切实可行。欧空局经常与美国或俄罗斯联合实施空间探测任务，其目前的深空探测计划时间节点为：2024 年前实现载人登月，2026 年实现机器人登陆火星，2030 年向火星运送货物，2033 年实

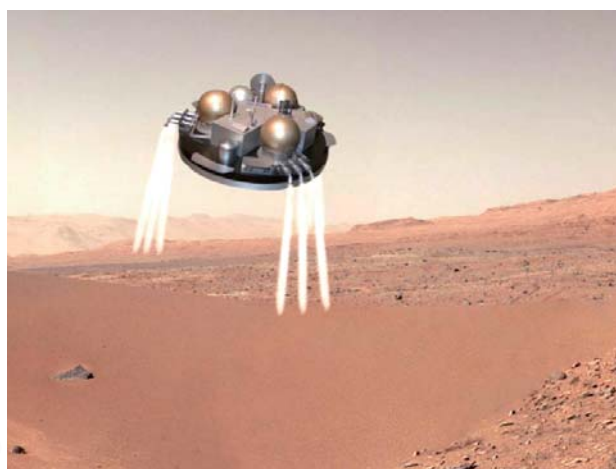
现第一次载人登陆火星。

(4) 日本

相对来说，日本的深空探测计划没有上述几个国家或机构那么庞大。由于日本的载人航天技术相对薄弱，它也仅仅制定了载人登月的计划，而没有载人登陆火星的任务。日本深空探测计划主要节点为：2018—2025 年间实现对火星的探测和取样，2022 年



着陆器实物图



登陆过程示意图

图 15 欧盟—俄罗斯联合火星探测项目 ExoMars 中的火星着陆器

左右实现金星、水星探测，2025 年前实现载人登月并建立太阳能基地，2025 年后进行木星及更远行星探测。

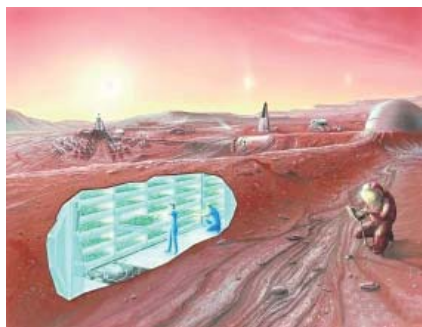


图 16 艺术家想象的未来火星基地



图 17 日本“隼鸟号”（Hayabusa）小行星探测器

（5）印度

印度最近几年在航天上取得了较大的进展，其深空探测计划主要节点如下：2020 年后进行金星、水星探测，2020 年左右实现载人登月，2025 后进行小行星 / 彗星飞越任务。不过，印度是否能够实现 2020 年载人登月，尚是未知数。

（6）中国

中国目前正在实施的深空探测项目是月球探测。根据计划，月球探测的战略分三步实施，分别称作“绕”“落”“回”。所谓“绕”，

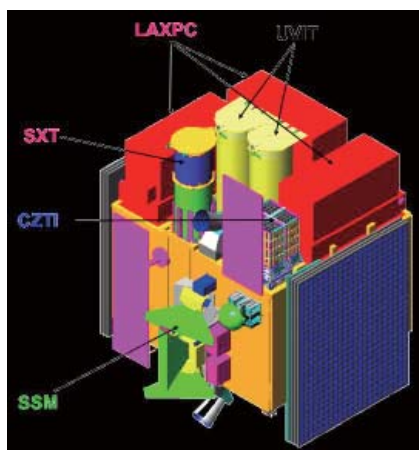


图 18 印度火星探测器“曼加里安号”（Mangalyaan）

就是围绕月球飞行并对其进行观测。

“落”，指的是卫星降落在月球表面，以月球车的方式对月球表面进行直接探测。“回”，指的是卫星降落月球后还能再次起飞，返回地球。其中，2007 年发射的嫦娥一号、2010 年发射的嫦娥二号卫星实现了对月球的绕飞探测，完成了三步走战略的第一步。2013 年发射的嫦娥三号卫星，成功登陆月球，并释放出玉兔号月球车，对月球实施直接探测，完成了三步走战略的第二步。嫦娥四号卫星是嫦娥三号卫星的备份星，没有发射。


严格地说，中国目前还没有制定官方的具体的深空探测计划，但学者们以及相关航天研制单位根据目前中国的航天能力提出了可能的计划及其实施时间。中国未来深空探测主要设想为：2020 年实现火星探测，2025 年实现载人登月，2030 年实现火星采样返回，2025—2030 实现小行星探测。



图 19 嫦娥三号月球车

结束语

深空探测已经成为航天发展的总体目标。世界上各个国家，包括中国在内，也都制定了各自雄心勃勃的深空探测计划。从这个计划里，我们又仿佛听到了 100 多年前，人类航天之父齐奥尔科夫斯基的那段著名的预言：地球是人类的摇篮，但人类不会永远躺在这个摇篮里，而会不断探索新的天体和空间。人类首先将小心翼翼地穿过大气层，然后再去征服太阳空间。

空间是人类认知世界的永恒话题。探索未知空间、开发未知空间、在新的空间中延续人类的生存，是人类社会永葆青春和活力的不竭动力。美国、欧洲、俄罗斯、日本、印度等国家，都已经敲响了进军深空的号角。弱国无外交，航天实力落后的国家也将错过 21 世纪太阳空间的曙光。因此，我们不会停止脚步，中国不会停止脚步。月球，我们已经到达。火星，还会远吗？

文章来源：未来空天