

国际太空探索协调小组 全球探索路线图(节选)

新版《全球探索路线图》重申了来自不同国家和地区的 14 家航天机构的共同愿景：以在火星表面开展探索为共同动力和目标，拓展人类在太阳系的活动范围。路线图反映了各国通过协调努力，以国际空间站为起点，为前往地月空间、月球表面和火星的太空探索任务所做的准备。航天机构队伍的壮大证明了人们对太空探索的兴趣越来越大，合作对于这些机构实现各自和共同的目标也越来越重要。

随着各国航天机构不断取得新的进展，第三版《全球探索路线图》反映了“月球对探索火星至关重要”这一共识，且进一步完善了探索路线中的每个步骤。路线图论证了世界各国正在开发或研究的能力，以及各国打算如何实现未来的可持续载人和机器人太空探索。新版路线图的主要内容包括：

- 概括太空探索带来的利益。太空探索将带来许多利益，因此在规划探测任务时，任务目标必须反映这一优先事项。

- 阐述获取科学知识的重要作用。与国际科学界的开放互动，有助于明确人类及太空基础设施在探索太阳系时创造的具体科学机会。除了本路线图阐述的内容之外，更多相关细节已经在补充白皮书《低地球轨道以外的载人探索所带来的科学机遇》中予以公布，该白皮书可从 www.globalspaceexploration.org 网站下载。

- 引入国际合作的深空之门概念。深空之门是有人照料的小型月球轨道空间站，将在可持续载人太空探索中发挥重要作用。

在初期，深空之门将为载人和机器人月球探索活动提供支持，为各国航天机构及私营企业推进关键目标创造机会。

• 认识到私营企业对太空探索的兴趣日益增长。在各国航天机构期待扩展人类在太阳系的活动范围时，私营企业的兴趣正在改变低地球轨道的未来、创造新的机会。随着私营企业探索太空的能力和意愿上升，未来合作将不仅限于航天机构之间，还会扩展至追求自身目标的私营实体。国际太空探索协调小组(ISECG)设想扩大伙伴关系和未来合作，以此作为实现共同雄心壮志的手段，与越来越多的参与者一起，可持续地在太阳系推进载人和机器人太空探索。

第一章 人类为什么探索？

一、扩展人类在太阳系活动范围的共同路线图

路线图包含政府和私营企业扩大人类活动范围(从低地球轨道到月球再到火星)的战略。在推动技术进步、降低风险并确定新市场等方面，政府在太空探索能力和任务方面的投资起到了重要作用。在新市场中，竞争刺激创新，进而产生新的利益。

自2000年以来，国际空间站不断有乘员驻留，展现了低地球轨道上的人类活动的益处和潜力。国际空间站主要负责开展由政府和非政府实体赞助的科学研究。通过国际合作，已有2100多项研究在国际空间站上完成，且有更多此类活动正在进行中。对于未来载人深空任务而言，国际空间站是非常宝贵的长期飞行模拟设施，有助于攻克长期飞行过程中的人类健康风险和人体性能风险，并作为关键技术的试验平台。同时，国际空间站也被用于教育和宣传活动，每年吸引数百万来自世界各地的学生和爱好者参与。最后，国际空间站正在推动低地球轨道经济的发展，低地球轨道仍将是太空中人类活动和研究的重要目的地。

国际太空探索协调小组预计，到 21 世纪 20 年代中期，随着载人和商业探索扩展至深空，位于月球附近的“门廊”将支持月球上和月球周围的活动，成为人类探测月球、火星和小行星的“前哨”，同时也会作为技术和作业测试平台，让探索者应对深空探测的挑战和风险，并对太阳系进行科学考察。

深空之门和部分可重复使用的月球着陆器(由日本宇宙航空研究开发机构、欧洲航天局和俄罗斯国家航天集团公司研发)，可支持载人登月任务。这些任务也将提升探索火星所需的能力和技术。航天员可推进机器人任务的准备工作，如评估月球表面资源潜力以及能利用这些资源进行可持续勘探的技术。

自 20 世纪 50 年代太空时代开启以来，载人太空探索一直让人类着迷，并激发了由个人、航天机构和私营企业实体推动的众多有吸引力的愿景。《全球探索路线图》与这些愿景是一致的，描绘了实现愿景的共同途径。

二、拓展人类在太阳系的活动范围，能激励全世界人民共创更美好的未来

通过太空探索获得的知识和技术拓展了我们对宇宙的了解，创造了经济机会，并帮助解决了地球上面临的巨大挑战。人类与机器人的合作对太空探索事业的成功至关重要。高科技机器人作为人类的“侦察员”和“替代者”，率先冒险进入恶劣环境，收集关键信息，使载人探索更加安全。人类则在后续探索任务中发挥灵活性、适应性、机敏性、创造力、经验与直觉以及实时决策能力。

2007 年发布的《全球探索战略：协调框架》提出了载人和机器人太空探索的愿景，该愿景经过了全球性的协调，关注太阳系中的目的地，认为人类未来可能在这些目的地生活和工作。在这个全球愿景中，机器人先于人类到达月球、近地小行星和火星，揭开它们的神秘面纱，表征其环境，确认风险和可能存在的资源。

随后的载人探索活动将以协调一致的方式开展，这种低成本且可持续的方式有利于世界各地的航天机构实现目标。

国际太空探索协调小组是根据《全球探索战略》建立的，《全球探索路线图》是为实现这一愿景而制定的。《全球探索路线图》虽然未向各参与国航天机构分配具体步骤和活动，但可以作为这些机构开展任务的参考，提供创新思路和解决方案，以共同应对未来的挑战。

三、太空探索的好处：各国大力寻求获得新知识并激励和推动创新

人类长久以来孜孜以求的就是，回答“宇宙中生命起源和本质是什么”的问题，并拓展人类的活动疆界。载人和机器人太空探索便是寻找答案的过程，且给社会带来了直接和间接的利益，具体分为以下几个方面：

推动创新与经济增长。太空探索是创新的驱动力，使卫生与医药、公共安全、消费品、能源与环境、工业生产力、交通运输等各个方面的技术都有所改进。太空探索将继续成为技术和创新思想的重要推动力，为其他行业部门提供与太空部门合作的机会，联合开展研究和开发工作。例如，用于为国际空间站提供支持的水循环系统创新已经衍生出了可用于地球上的节水活动与减灾的技术和方法。

载人深空任务需要在水循环技术和环境控制方面进行改进，这些改进将促进地面相应技术的发展，所产生的利益反过来又会造福公共和私营部门的太空探索活动。太空探索催生的新技术也有利于其他天基技术在地面的应用，如用于气象或通信卫星。过去几年，航天业的私人投资增加了就业机会，加速了经济增长。私人投资和竞争正刺激低地球轨道经济发展，促进革新，有望使太空探索更加经济、更加可持续。

获取知识。太空探索带来的益处源于新知识的产生，对人类来说这是太空探索固有的内在价值。从太空获得的科学知识扩展了人类的认知，且经常为社会发掘有用的、创造性的地面应用。例如，研究人体长时间处于国际空间站微重力环境下的反应，深化了我们对衰老过程的理解。对火星环境及其演变和现状的基础科学研究，确定了类地行星演化的重要基准，因此提供了一个模型，科学家认为将有助于我们进一步了解地球气候变化过程。从更长远的角度来看，众多任务积累的知识和人类在太阳系活动疆界的延伸，将有助于人们了解宇宙生态圈的脆弱和稀缺，以及人类的成就、潜力和命运。

全球合作：“应对全球性挑战”的伙伴关系。可持续的太空探索，本质上是一项全球性的任务。“将人类的活动范围以可持续的方式扩展到太空”带来了众多挑战，这些挑战正在推动人类社会各阶层(包括各国政府、全世界的工业界和学术机构)之间建立新的合作伙伴关系。国际空间站是“探究来自不同文化的合作伙伴如何有效合作来推进共同目标”的实例。在国际空间站进行合作研究涉及多个学科领域，显著增加了研究成果和知识的全球影响力。

这样的全球合作是建立在彼此的利益、优势和能力基础之上的，各国借此机会分享观点，兼顾互补性和多样性。不同的利益相关方通过交流有关太空项目的现有经验与专有技术以及衍生的创新技术，在整个价值链上产生了协同作用。新建立的全球伙伴关系可能为解决人类当下和未来面临的全球挑战提供资源。

文化与激励。太空探索为探寻人类与宇宙的关系提供了一个独特且不断发展的视角，激发了我们的好奇心和更大的想象力。千年以来，人类提出了诸多深刻问题：宇宙的物理性质是什么？人类的命运是否与地球有联系？我们和我们的星球是独一无二的吗？宇宙中还有别生命吗？通过探寻并揭示太阳系起源的新信

息，太空探索使我们更接近这些问题的答案。太空探索所产生的兴奋和热情吸引了众多年轻人从事科学、技术、工程和数学等领域工作，增加了公众对科学与探索的兴趣和支持。激励年轻人去学习并学有所成是所有国家共同的愿望。

四、宗旨及目标

航天机构认识到，让利益攸关方有所收益十分重要，因此确定了太空探索的五个共同宗旨和相关目标。这些宗旨和目标建立在载人和机器人太空探索任务的协同作用之上，反映了科学与探索互相协调的本质。宗旨及目标的制定是一个迭代的过程，会随着各航天机构优先事项的演变而不断完善。

(一) 扩大人类在太阳系的活动范围

- 确保人类航天飞行的连续性，并继续利用低地球轨道
- 使在月球周围和月球表面的可持续生活和工作成为可能
- 使在火星周围和火星表面的可持续生活和工作的载人任务成为可能

(二) 了解人类与宇宙的关系

- 研究地月系统、太阳系和宇宙的起源及演变
- 搜寻过去或现在生命的证据以及地球上生命的起源
- 调查人类可选目的地的可居住性

(三) 号召公众参与

- 激励与教育
- 为参与太空探索创造机会
- 为社会带来利益

(四) 刺激经济繁荣

- 提升太空探索的产业能力和竞争力
- 促进探索目的地的商业市场开发

- 促进与私营企业的合作

(五) 促进国际合作

- 鼓励和支持各国参与制定太空探索方案
- 提升协同能力，以增加国际合作机会

第二章 任务场景

“千里之行，始于足下。”

——中国谚语

一、低地球轨道、前往月球，接着前往火星

国际太空探索协调小组的几个航天机构正在合作开发探索低地球轨道以远太空所需的载人探索能力。于 NASA 而言，基本支持能力包括重型运载火箭(航天发射系统)、载人探索飞船(猎户座)和升级的地面发射系统。NASA 的“航天发射系统”提供了关键的大推力运载能力，为运送人员和货物前往月球及深空提供动力，还为其他火星、木星及以远科学探索提供可能。航天发射系统可提供有史以来最高的运载能力、最大的运载容积和最充足的能源供给，大幅度减少前往深空目的地的航行时间。航天发射系统具有灵活性和可拓展性，能够满足各种载人和货运任务需求。

猎户座飞船可搭载 4 名航天员，前往更深更远的太空。猎户座将作为探索工具，搭载航天员飞出地球，并以深空任务通常需要的高返回速度安全返回地球。猎户座的服务舱在欧洲建造，为营造宜居的舱内环境提供所需的太空推进能力、姿态控制、电力、水和氧气。

俄罗斯将在 21 世纪 20 年代初开始测试新的航天员运输系统。新系统将在最初的演示验证中执行国际空间站任务，最终将被用于月球任务。到 21 世纪 20 年代末，俄罗斯的超重型运载火箭和

航天员运输系统将为载人登月做好准备。在此之前，作为月球计划的一部分，俄罗斯还将发射机器人先锋任务，探测月球表面并验证相关技术。

可持续性原则

《全球探索路线图》基于以下原则制定，同时也反映了可持续的载人太空探索事业的特点。

- 低成本——采取创新方法，充分利用现有预算实现更多功能

在制定探索计划和执行整个计划的过程中，必须考虑成本。就体系结构而言，应当鼓励合作实施可重复使用、可靠的空间系统，以分担成本。

- 探索效益——实现探索目标并产生公共效益

可持续的载人太空探索必须对照探索目标实施，并为公众和其他利益相关团体提供价值。太空和其他疆域之间的协同至关重要。

- 伙伴关系——为不同的合作伙伴提供先机

国际合作对于实现并维持日益复杂的探索任务至关重要。合作方应考虑每个合作伙伴的长远利益，无论大小。与志同道合的私营机构合作可以促成新的方法，并开拓服务市场，以支持太空探索。

- 能力发展和互用性——逐步发展标准接口能力

发展现有能力，逐步提高绩效。使用通用接口和模块化架构有助于增加新的合作伙伴，减少质量问题并提高安全性。

- “载人-机器人”伙伴关系——最大限度地发挥载人任务与机器人任务之间的协同作用

将载人和机器人系统的独特、互补能力相结合，可以有效、安全地实现更多的目标。

- 鲁棒性——提供应对技术和方案挑战的抗毁能力

计划和行动必须灵活应对计划之外的变化或危机情况，无论

是出于灾难性事件、合作伙伴优先事项的变化、可用资金的调整还是目标升级等原因。在切实可行的情况下，应尽早应用关键功能的不同冗余技术。

二、任务场景

ISECG 的任务场景反映了有计划的载人与机器人任务，以及在研的概念性任务。虽然并非所有机构都将参与所有任务，但任务场景表明：各航天机构正努力开展国际合作，就实现载人火星探索的步骤达成共识。低地球轨道和月球探索对于全球太空探索的可持续性至关重要。

ISECG 任务场景中扩大人类在太阳系活动范围的关键步骤：

- 低地球轨道：验证所需的深空技术和能力，开展持续的低地球轨道研究

- 机器人任务

- 演示验证用于载人任务的技术

- 开展科学调查或采样返回，以及资源和环境评估

- 月球附近：建立一个平台(深空之门)

- 了解更多关于在深空中生活的信息

- 开展飞往月球和在月表探测的机器人任务

- 筹划月球表面的载人任务(载人月球着陆器)

- 加强对月球和太阳系的科学研究

- 组装并检验飞往火星的航天器

- 月球表面任务：形成月表探测能力

- 研究月球科学

- 为人类探索火星和/或在月球上开展长时间的活动进行准备和试验

- 了解月球开发和/或商业化发展的潜在经济影响

- 载人火星探测：实现可持续的载人探火

—环绕火星轨道和火星表面探测

三、低地球轨道：人类在此开展活动

国际空间站

国际空间站提供各种设备和系统，支持先进的研究和开发活动，包括生命科学、物理科学和材料科学研究都有相应的设备，例如啮齿类动物研究、蛋白质晶体生长、DNA 测序、立方星和小型航天器部署以及增材制造设备等。源源不断的后勤飞行任务为国际空间站运送设备并带回调查样本，以及时把握研究和分析机会。

国际空间站俄罗斯舱段的新研究模块将增加研究和技術演示论证的机会。新的商业模块(包括欧洲和美国的模块)也在增加。预计在未来，美国将向国际空间站发送新的乘员与货物运输系统，为用户提供更多的访问途径和有利条件。这些新运输系统将同俄罗斯联盟飞船一起为国际空间站提供服务。后者对国际空间站的运行至关重要。以上都是国际合作产生效益的例子。

国际空间站是进行地球科学、太阳物理学和天体物理学研究的有用平台，也是进行载人太空探索的必需平台。人类研究和探索技术的演示论证是国际空间站活动的重点。从国际空间站的尖端科技到太空探索任务的绩效和可靠性要求，逐渐成熟的生命支持系统是一些航天局的重要优先项目。

国际空间站作为一个平台，政府和非政府实体都在低地球轨道上寻找探索机会。企业家、创新者、制药公司和其他消费品研究人员都被低地球轨道所吸引，因为它有潜力带来新的产品、市场和服务。已有 600 余个有效载荷发射至国际空间站。这些发展似乎表明，除了航天局外，私营机构也需要将人类送至低地球轨道并建立自己的基础设施，且私营机构的这一需求在未来仍将长期持续。

国际空间站的合作机构承诺，国际空间站将至少运行至 2024 年或更久。

中国空间站

2010 年 9 月，中国政府批准实施空间站项目。中国空间站项目分两个阶段进行：第一阶段包括空间实验室，第二阶段包括空间站的建设。天宫二号空间实验室于 2016 年 9 月发射，随后神舟-11 号载人飞船和天舟一号货运飞船与其对接。中国空间站由一个核心舱和两个实验舱组成，轨道倾角为 42 度，高度约 340~450 千米，设计寿命 10 年，也可通过维护延长使用寿命。空间站建设完成后，将有 2~3 名航天员在站内持续长时间生活和工作，轮换期间最多可停留 6 人。空间站配备外部机械臂和其他设备，以支持空间站建设、维护和运行。

空间站的组建分三个阶段。在核心技术验证阶段，中国发射了测试核心舱，并多次发射载人飞船和货运飞船对核心舱进行测试，验证航天员长期生活的条件、生命支持系统、柔性太阳翼和驱动机制、大型灵活结构的控制系统和空间站的组装。在这个关键的技术验证阶段之后，中国将发射两个实验舱，完成建设阶段。在此期间，中国还将发射多艘神舟载人和货运飞船，完成建设任务，同步开展科技实验。

空间站的建设任务完成后，运行阶段启动。航天员将执行长期任务，开展科技研究和探索活动。在现有三舱配置的基础上，可以使用附加的对接接口，对接附加的永久性组件。空间站可以对接符合中国空间站标准的外国航天器，也可以配备外部实验平台和实验设备。未来空间站可能会添加更多太空舱。

空间站的主要科学研究和应用方向包括：空间医学、空间生命科学与生物技术、微重力流体物理学、空间材料科学、微重力基础物理学、空间天文与天体物理学、空间环境与空间物理学、航空航天元器件、空间地球科学与应用、天基信息技术、航空航

天新技术及其在太空的新应用。

国际合作可以从基于太空舱、外国航天器的访问，航天员的联合飞行以及空间科学和应用研究等方面开展。

未来平台

一些私营企业已经宣布了商业平台的概念。这些平台可能是有人维护的，可以为各种政府与非政府用户提供服务。除政府用户外，预期非政府用户的需求将来自从事研究或太空制造、太空旅游和其他商业创举的私营公司，上述用户都将获益于对低地球轨道的利用。如果政府可以使用私营公司位于低地球轨道的平台完成研究，该平台的可用性将成为影响国际空间站寿命的一个考虑因素。确保载人航天飞行的连续性是另一个重要的考虑因素，因为保持工业能力和技术并维系发展势头至关重要。

一些机构正在研究未来平台设计，以了解未来的可能性——是通过政府投资，还是与私营公司合作。例如，俄罗斯正在研究后国际空间站轨道站概念，目的是延续国际空间站的成果，为利用低地球轨道提供中转，使人类广泛获益，并创造更多合作机遇。这些研究的目标是了解由用户驱动的平台的主要特征，评估政府在提升平台可用性方面的可能作用。

ISECG 航天机构强烈呼吁，有必要在国际空间站退役之后继续开展低地球轨道活动。一些航天局已承诺将继续研究活动、培养航天员，希望这些举措能够鼓励私营公司研发未来平台。ISECG 航天机构已认识到私营企业的重大进步，并鼓励它们围绕低地球轨道的人类活动及基础设施发展新兴的太空经济。与此同时，数家航天机构把对目标和资源的关注扩展到人类对月球环境、火星和其他目的地的探索。

四、月球附近：推进和维系人类太空探索目标的下一个目的地

月球轨道和月球表面在可持续的载人太空探索中扮演着重要角色。在月球附近安置有人维护的小型设施，将使载人和机器人月球探测成为可能，为多个用户推进关键目标创造机会，促进载人深空探测的蓬勃发展。

月球附近的有人维护设施将使以下事项成为可能：

- **可重复使用性：**月球附近是对月球和火星探测所需的可重复使用组件进行升级与翻新的绝佳场所。该位置存在地-月引力平衡的稳定轨道，为可重复使用的机器人和载人登月系统(包括任务之间的加油和维修)提供便利的起点。

- **试验：**可以试验深空电推进系统。月球附近的环境与航天员和宇宙飞船在深空中体验的环境相同。在紧急情况下，技术、程序和风险管理试验计划可以在相对接近地球的地点进行测试。在执行长达2~3年的火星任务之前，可以对太空能力进行试验，以确保飞行准备就绪。

- **易进入性：**政府和商业发射运输系统都可以到达月球附近，由此提高了任务的鲁棒性并增加了机会。政府和私营企业之间的商业服务与合作存在很多可能性。

月球附近的轨道支持多种探索目标

平衡地球和月球重力井之间的轨道能量，保持良好的通信和热力属性是月球轨道位置的重要考虑因素。最有希望的位置包括一系列绕地球-月球动平衡点的晕轨道，每7天就会在距月球表面几千米处经过。深空之门将从这一轨道转移到月球附近，抵达支持探索和目标观测的其他轨道，同时试验太空探索所需的先进推进技术。

五、通往月球和火星的国际深空之门

概念性的深空之门(DSG)是下一个能够实现可持续、低成本载人太空探索的架构。深空之门的第一个模块将使用高功率太阳能推进系统,为深空之门的其他模块提供电力、指挥和数据服务。深空之门将支持航天员驻留,包含一个科学气闸和一个机械臂,支持航天员出舱活动。深空之门将提供与地球和月球表面的通信能力,为机器人对月球背面和极地地区的科学探索开辟了新的机遇。

深空之门的组装和运行将由猎户座、航天发射系统和其他航天运输系统实施。首先,将有4名航天员在深空之门执行多次任务,每次任务至少30天。随着深空之门的发展以及其他运输系统投入使用,任务(最初30天)的频率和时间长度可能会增加。

深空之门包括用于安装未来高级闭环生命支持系统的接口,允许对新系统进行测试,也允许航天员在深空之门停留更久。深空之门的航天员将执行科学任务,评估未来居住功能,并调查需要在深空环境中进行测试的探索技术。私营公司也可以通过公私伙伴关系利用深空之门。若无航天员进驻,深空之门将继续支持由地面控制运行的科学任务和其他活动。

日本宇宙航空研究开发机构、欧洲航天局、加拿大航天局和俄罗斯国家航天集团公司的月球探测研究项目,可利用深空之门支持可重复使用的载人登月着陆器和机器人月球探索。深空之门及其航天员可以为未来的火星运输系统提供服务和支持。

国际深空之门提供的科学机会

月球附近是利用安装在深空之门外部的仪器,对月球、地球和太阳系进行科学观测的有利位置。利用深空之门,可从月球表面和太阳系中的其他目的地获取具有科学价值的样本。深空之门可作为微小卫星、立方星和月球表面资产的通信中继。深空之门

允许在深空环境中进行人体生理学实验。人类可以使用遥控机器人探测月球表面，包括部署先进的月表科学仪器。

对火星任务准备的促进作用

- 运输航天器组装与检验
- 深空运输和居住功能演示验证
- 自主乘员运行
- 演示验证供应链削减后的运行能力
- 辐射防护策略
- 遥控机器人技术的完善
- 飞行器维修与加油演示验证

六、月球表面

4 名航天员将在月球表面执行一系列任务，为太阳系探索提供基础，并为前往火星做准备。

航天机构在对月球进行科学研究的同时，发展了能够用于火星探测的能力。航天机构的投资将推动技术进步，降低风险，使政府或私营公司能够持续开展月球表面任务。

利用深空之门，月球表面任务可以：

- 研发可重复使用的月球着陆器：降低需要多次使用的组件的开发成本，从而投入到其他元素的研发中，如太空加油基础设施。

- 建立深空之门，为月球表面任务中断场景下的航天员提供安全避难所，以此降低风险。

- 4 名航天员将通过深空之门获益并为众多合作伙伴提供飞行机会。

- 推进和增强月球机器人任务的原位资源利用活动。

可能着陆点：

月球具有丰富的科学研究价值，有许多地方值得探索。有价值的地点包括月球两极(北极和南极)、火山沉积物、撞击坑和盆地，以及熔岩管或熔岩坑。载人任务期间，气密巡视器能够移动很远的距离，这将有助于区域科学考察。

载人探月的国际架构

作为深空之门项目的一部分，部分可重复使用的月球着陆器将把4名航天员送至月球表面具有较高科学和探测价值的指定地点。当航天员登陆月球表面时，两台可重新定位的巡视器(第一代未来火星探测器)以及用于延长停留时间的补给将在登陆点迎接他们。航天员白天探测，晚上进行分析和规划，还将收集科学样本，并为长达42天的任务(月球上的两昼一夜)演示验证原位资源利用技术。此后，巡视器将移动至其他指定地点，迎接下一批航天员，沿途开展科学研究。

月球科学

月球保留了太阳系早期和生命形成期间发生的许多地质过程。它记录了地质年代的影响历史。在有大气层的活跃行星体上，这些记录已经消失，而月球仍保留着关于太阳对表层土壤以及类地行星早期演变的影响的记录。月球两极的挥发性沉积物可能记录了进入内太阳系的挥发物。月球背面不产生无线电干扰，人类因而能够通过部署射电望远镜，对宇宙形成的早期阶段开展天体物理学研究。登陆月球后，人类能够绘制详细的地质图，收集关键样品，以便在地球实验室进行分析；并在月球表面安置精密仪器，包括地震仪和其他地球物理仪器。

对火星任务准备作出的贡献

- 着陆器：液氧/甲烷发动机演示验证、从月表安全上升，与返回式航天器对接。
- 巡视器：远距离和长时间的移动性、在尘土飞扬的环境中

驻留的能力。

- 通用：样本安全返回地球和原位资源利用技术的演示验证。
- 电源：先进的核电系统。

七、火星

人类对火星的探测吸引全球的目光，将促使人类对火星进行详细的原位科学研究，并推动地球和太空探索技术的发展。

为实现该目标，应按照逻辑上符合任务演变的顺序(持续时间、复杂程度和飞出地球的距离逐渐增加)发展必要的能力。至少需要6个元素才能实现人类往返于火星表面：

1. 深空运输工具，充分利用国际空间站相关工作和对深空之门的投资；

2. “进入-下降”着陆器，充分利用对机器人着陆器和载人登月着陆器的投资；

3. 火星上升飞行器的能力，充分利用对月球上升飞行器和火星采样返回的投资；

4. 表面居住地和基础设施，充分利用对月球附近以及月表居住和发电的投资；

5. 在火星表面的移动能力(舱外活动和探测器)，充分利用对月球附近和月表舱外活动和探测器的投资；

6. 开展足够的侦察(轨道和地面)，以支持人类基地的选择，并让工程研发人员了解所有火星任务元素。

在火星的科学研究机会

火星在过去和现在的行星演化过程中与地球有着最大的相似性，可能保存着太阳系生命起源的时间和行星演化中灾难性变化的最好记录。机器人任务已经表明，火星含有水，这表明火星很可能存在生命(过去和/或现在)，也对未来的人类火星探测提供

了支持。火星探测将解答深刻的科学和哲学问题，如：太阳系内的生命是如何开始的？火星上是否曾有生命存在，现状又如何？我们可以从火星研究中窥见与地球过去和未来有关的哪些线索？基于 50 多年的机器人科学发展以及最终的采样返回，人类探险家对于揭示这些复杂和基本问题至关重要。人类可以进行地质采样，反复对环境进行实地调查，制备/分析样品。人类将推动实现跨学科的科学目标，如研究天体生物学、大气科学、医学和地球科学。

有了前往火星的能力，人类就有可能访问一些太空中的小行星。早期太阳系形成的这些残存物质具有科学研究价值，可能拥有未来有用的资源。

近地小行星上的科学研究机会

数量庞大的近地小行星表现出多样性，见证了整个太阳系的历史事件，经历过各种环境条件。通过小行星探测，人类可以在小行星表面安置复杂仪器，对表面和地下进行采样，以获取有关太阳系历史的信息，而大型、成熟的行星体已经丢失了这些信息。由训练有素的探险家精心挑选的样品也可以帮助我们更好地了解科学家正在研究的成千上万的陨石，为形成太阳系起源说的陨石提供地质信息。我们还将努力了解关于近地小行星内部结构的更多信息，这是制定小行星撞击地球威胁缓解策略所需的重要组成部分。

机器人探索任务

已规划的未来月球(未来月球机器人任务见表 1)和火星机器人(未来机器人火星探测任务见表 2)任务对于解答新科学问题，缩小与人类太空探索相关的战略知识差距至关重要。众多其他机器人任务，以及公共和私营公司规划的立方星将参与以下各大机构主导的任务。ISECG 航天机构已与相关团体开展合作，识别与月球、小行星和火星相关战略的知识空白。

火星采样返回

火星采样返回是全球行星科学界的关注重点，将加速我们在太阳系中寻找生命的进程。火星采样返回任务还将解决“行星科学十年调查”的关键优先事项，使我们了解土壤/尘土的力学特性以及潜在的健康危害。它还将为载人返回任务提供技术支持。

NASA 正在引领任务概念的研究。在概念层面，NASA 设想了“三步走”任务——收集样品，将样品送入火星轨道，然后返回地球。这种模块化方法非常可行，因为每个任务的工程挑战数量都是可控的。这种方法还可以使采样返回计划按照现有资金和国际参与程度推进。将火星作为一个综合系统进行的研究在科学上非常有说服力。因此，相关研究还将继续，未来任务将开展针对不同地点的原位资源利用研究，并在人类登陆火星前提供充足的调查机会。

表 1 未来月球机器人任务

任务	机构/发射日期	目标/解决的战略知识空白
月船-2	印度空间研究组织(ISRO)/2018	极地科学轨道器、着陆器和巡视器
嫦娥-4	中国航天局(CNSA)/2018	月球背面科学着陆器和巡视器、通信中继卫星
嫦娥-5	中国航天局/2019	月球正面采样返回
韩国探路者月球轨道器	韩国航空宇宙研究院(KARI)/2020	极地科学轨道器
月球25号/月球-全球月球巡视器	俄罗斯国家航天集团公司(Roscosmos)/2020	月球挥发性物质勘探、软着陆技术演示验证
“自我生存模块”项目	日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)/2020	技术演示验证
极区采样返回	中国航天局/2020年前后	极地挥发性物质采样返回
月球26号/月球-资源轨道器	俄罗斯国家航天集团公司/2022	极地科学轨道器、极地挥发性物质绘图
资源勘探者任务	美国国家航空航天局(NASA)/21世纪20年代初	极地科学、挥发性物质勘探和获取、钻探技术演示验证
JAXA 资源勘探者	日本宇宙航空研究开发机构/21世纪20年代初	极地着陆器和巡视器、极地科学和挥发性物质勘探

续表

任务	机构/发射日期	目标/解决的战略知识空白
月球 27 号/月球-资源 着陆器	俄罗斯国家航天集团公司和欧洲航天局 (ESA)/2023	极地科学、挥发性物质勘探和获取、钻探技术演示验证
原位资源利用演示验证	欧洲航天局/2025	原位资源利用技术演示验证
韩国月球着陆器	韩国航空宇宙研究院	技术演示验证
月球 28 号/月球-土壤 巡视器	俄罗斯国家航天集团公司	低温极地挥发性物质采样返回

表 2 未来机器人火星探测任务

任务	机构/发射日期	目标/解决的战略知识空白
洞察号火星着陆器	NASA、法国航天局(CNES), 加拿大航天局(CSA)和德国航天局(DLR)/2018	火星地热梯度/地震学和火星内部结构、找出指定地点的地震风险、建立气象站监测天气状况
火星生物学巡视探测器	欧洲航天局/俄罗斯国家航天集团公司、意大利航天局(ASI)、法国航天局、德国航天局、NASA、英国航天局(UKSA)和西班牙航天机构/2020	巡视探测器携带 1.5 米钻头和仪器, 搜寻生物特征、地下水合物和浅层水冰
火星 2020	NASA、法国航天局、意大利航天局以及挪威和西班牙的航天机构/2020	氧气处理演示验证、贮存样品以便之后返回地球
阿联酋火星任务希望号火星探测器	阿联酋航天局/2020	全天时天气图
火星 1 号探测器	中国航天机构/2020	轨道、着陆和巡视任务。调查地形地质特征、物理场和内部结构、大气、电离层、气候和环境
印度火星轨道探测任务-2	印度空间研究组织(ISRO)/2022	印度火星轨道器研究表面和地下特征、矿物成分和高层大气过程
火星卫星探测任务	日本宇宙航空研究开发机构、CNES、NASA 和其他航天机构/2024	从土星的两个卫星之一采样返回, 加深对行星系统形成和原始物质输送的理解