

《全球探索路线图》确定国际航天新战略

王佳存

(山东省科学技术厅, 济南 250014)

摘要: 2013 年 8 月, 国际太空探索协调工作组发布《全球探索路线图》, 确定了空间探索的新战略。工作组成员——各主要国家航天机构达成的共识是: 立足国际空间站, 以地月系统为起点, 逐步向太阳系推进, 实现人类探索火星的目标。为落实该路线图, 国际太空探索协调工作组提出了向公众宣传空间探索的价值、模拟火星探索、降低健康风险等建议。期望对《全球探索路线图》的介绍与分析, 为我国发展载人航天提供借鉴。

关键词: 航天科技; 太空探索; 全球探索路线图

中图分类号: V-01 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2014.12.003

2013 年 8 月, 由意大利、法国、加拿大、德国、欧盟、印度、日本、韩国、美国、乌克兰、俄罗斯和英国等 14 个国家和地区的航天机构组成的国际太空探索协调工作组 (ISECG) 发布了新的《全球探索路线图》(Global Exploration Roadmap), 明确了立足国际空间站, 以地月系统为起点, 推动人类和机器人探索火星的新目标。^[1]

1 概述

为推动全球合作空间探索, 2006 年, 美国等 14 个国家和地区的航天机构代表开展讨论和对话, 并在此基础上于 2007 年联合发布多国合作空间顶层战略《全球探索战略: 合作框架》(The Global Exploration Strategy: The Framework for Coordination), 成立了 ISECG。^[2] 2011 年 9 月, ISECG 根据《全球探索战略: 合作框架》的精神制定并发布了《全球探索路线图》, 规划了未来 25 年通过国际合作持续探索月球、小行星和火星的路径和方案, 规定了探索目标和目的、任务及探索准备活动的协调等。^[3] ISECG 这次发布的《全球探索路线图》是对 2011 年版的更新。

2011 版《全球探索路线图》对载人火星探测提出了两条供选择的探索路线——都从国际空间站任务开始, 接下来, 一个方案是进行月球探测, 另一个方案是进行小行星探测, 在积累较充足经验后, 将各自扩展到载人火星探测。^[3] 新版路线图则将两条途径合二为一——2025 年之前的重点是载人行小行星探测, 然后进行载人月球表面探测, 最后开展载人火星探测。^[1] 这不仅反映了火星探索中通过渐进阶梯式发展获得技术能力的重要性, 也兼顾了各国不同的太空探索重点和潜在的商业机会。此外, 新版路线图还说明了已规划的和概念性的近期任务, 展示了目前各参与国航天部门的行星际机器人探索、先进技术发展以及国际太空站利用准备等方面的规划等。这其中, 国际空间站的作用得到了凸显和重视, 它不仅是载人深空探测的起点, 还是验证未来用于支持有关载人小行星探索、月球探索甚至是火星任务等各项关键技术的平台。

2 空间探索的共同目标

ISECG 通过与各国航天局对话以及对各成员国探索目标的了解并达成共识, 《全球探索路线

作者简介: 王佳存 (1965—), 男, 副处长, 主要研究方向为科技管理。

收稿日期: 2014-06-04

图》明确了未来年国际太空探索的八项共同目标，反映了参与国共同的愿景。

2.1 开发探索技术与能力

即在地外环境开展先进技术的研究试验，开发地外环境的可靠系统和有效方案，获取低地球轨道远端目的地工作所需的知识、能力和基础设施，最终获得新材料、新工艺、新产品以及可满足挑战的各种新技术。

2.2 激发公众参与探索

航天机构有责任回报对航天探索给予支持的公众，要向公众传播知识，分享令人叹为观止的空间发现故事，吸引他们以多种方式参与太空探索，通过太空探索教育和鼓舞民众，特别是青少年，推动社会文化建设。

2.3 增强地球安全

通过寻求和遵循行星防护体制和轨道碎片管理机制，增强地球安全性。这将降低未来不可预测的小行星碰撞的风险，降低地球轨道资产的损害。

2.4 扩展人类的存在

即探索建立多种多样的低地球轨道远端新的目的地，延长在目的地上停留的时间，扩大在目的地上停留人员的数量，提高太空中停留人员自给自足的水平。这将扩展人类在太空中生活和工作的能力，更好地掌握人类在太空和地球使用的太阳系资源，最终实现人类在其他星球生存的目标。

2.5 进行支撑载人探索的科学研究

该目标旨在了解太空环境对人类健康和探索系统的影响，降低未来人类进行太阳系探索所遇到的风险，提高执行未来太阳系任务的能力。这对未来载人航天至关重要，将最终推动人类进入太阳系。同时，这一研究还会推动地球上人类医疗卫生技术的创新。

2.6 执行太空、地球和应用科学任务

即对太阳系内目的地进行科学探索或基于该目的地对其独特的环境开展应用研究。这将加深人类对地球的认识，向人类社会传递知识。

2.7 寻找生命

即确定地球以外过去或现在的生命迹象，了解为生命提供支持的环境，回答人类起源和演化的根本问题。寻找生命是空间探索的中心目标，将推动人类关于自身的文化追问，了解人类是不是在茫茫

宇宙中“形单影只”，解开人类到底是不是唯一生命的谜。寻找地外生命既具有科学上的意义，也具有哲学上的意义。

2.8 刺激经济增长

即支持和鼓励企业提供技术、系统、硬件和服务，形成基于空间活动而开辟的新的市场，为人类带来经济回报、技术创新和生活改善。这将催生新的工业、鼓励创新（如在机器人、能源系统等领域）以及创造高技术就业岗位。同时，空间探索还要以更有效、更及时的方式创立新的商业模式，而且，随着空间探索从政府研究演进到开发和商品化，未来这种经济活动还可能扩展到月球和太阳系。

3 长期载人探索战略

3.1 基本思路

千里之行，始于足下。为实现空间探索的共同目标，ISECG 在路线图中提出了近期空间探索的任务：首先，是充分发挥国际空间站的作用；其次，是最大限度地做到人类和机器人任务的协同配合；第三，是加大对月球区域的探索，不断提高和开发火星探索所需要的能力和技术，同时，积极开展对月球和近地小行星的探索和发现。

完成近期任务是为了落实远期战略。ISECG 制定的长期载人探索目标，是在今后 25 年极大地推进对火星的探索。实现人类登上火星的任务，要求开发具备进入火星轨道、下降以及着陆的能力。当前，企业在参与近地轨道空间探索已经取得了显著成绩，今后，企业也可以在近地轨道以远的空间探索，特别是火星探索中发挥积极作用。

为指导任务方案的实施，ISECG 达成了 6 点原则意见：一是基于能力的框架，遵循阶段性/阶梯式的方法，实现不同目标；二是探索价值，产生公众效益并完成探索目标；三是国际合作伙伴关系，为各类合作伙伴提供早期的以及持续的机会；四是健壮性，通过快速恢复能力应对技术和程序挑战；五是可购性，考虑经费预算限制；六是人机合作伙伴关系，最大限度地做到人类和机器人任务协同配合。

3.2 未来空间探索需具备的能力

工欲善其事，必先利其器。没有过硬的空间探索能力，实现人类登陆火星无疑是痴人说梦。火星

探索是一项长期任务，其主要技术挑战包括：辐射防护技术和措施、分系统可靠性和在轨维修能力、大型有效载荷的进入和下降及着陆、原位资源利用、先进的在轨推进技术、低温液体的长期存储和管理以及表面移动性等。根据《全球探索路线图》，火星探索必须具有以下能力：

(1) NASA 的猎户座飞船 (Orion) 和 ROSCOSMOS 下一代飞船，作为载人航天器，可将航天员送到空间目的地并载回地球；

(2) NASA 航天发射系统 (SLS) 和 ROSCOSMOS 下一代发射器，作为航天发射器，可将航天员或货物送入近地轨道以远的空间；

(3) 低温推进段 (CPS)，可利用低温氢和氧作为推进剂，实现空中推进；

(4) 可扩展的深空居住舱，能够根据载人需要进行空中停留、太空漫步，并以此为基点进行火星探索；

(5) 服务支持系统，可实现人和机器人、飞船和太空居住舱等各种功能的整合；

(6) 物流系统，可为月球附近货物运输提供支持；

(7) 小型货物着陆车，可将机器人和货物运输到月球表面；

(8) 航天员着陆车，能够多次使用，具备将航天员和货物运输到月球表面的能力；

(9) 月球表面系统，可使航天员有效地完成月球表面任务，包括人在月球表面的移动、停留等；

(10) 先进空中推进系统，使用非常规推进技术，比如，高能电力和核推动器，开展对小行星和火星的深空载人探索。

3.3 主要任务

《全球探索路线图》确定了 3 项长期载人空间探索的任务。

(1) 探索近地小行星

基本思路是通过机器人捕获一个近地小行星，并将它变轨到月球附近，以便猎户座飞船能够接近它。这一小行星直径不超过 10 m，因此，不会对地球造成威胁。小行星一旦变轨成功，航天员或机器人就可以造访并对它进行研究，分析小行星的物质构成，确定和评估未来可以利用的资源，取回可

资研究的样品。近地小行星探索可以演练的技术包括空中发射系统、猎户座飞船、30~50 kW 太阳能推进系统、太空漫步、太空对接、深空导航以及通讯等。

(2) 延长航天员空间停留

目前，航天员在空间的停留主要是依靠国际空间站，今后要提高航天员空间停留能力，在月球附近发射一个可扩展的深空居住舱。该居住舱通过空间发射系统 (SLS) 发射到地月拉格朗日点 2，然后通过太阳能推进系统重置到月球区域的其他地点，能够提供生命支持并展示能够在近地轨道以远进行使用的前景。这一任务将演示深空探索技术、航天员自主操作能力、人机空间交互能力等，主要通过俄罗斯下一代载人飞船系统 (Russian Piloted System) 和美国的猎户座飞船 (NASA Orion) 完成。

(3) 载人月球表面任务，即实现载人登月

航天员可以从深空居住舱抵达月球，演练载人火星的相关技术。通过机器人拍摄的月球高清图像、传回的月球数据等，研究人员已经了解了很多关于太阳系形成和演化的信息。登月以后，航天员将在月球上停留可以长达 1 年的时间，对月球进行详细的研究。这一任务将被当成载人火星的预演，主要展示返回地球车的级操作、扩展的航天员太空移动和居住系统、先进的能源系统、航天员深空和部分引力环境下的表现、航天员月球表面自主探索等。

4 载人探索的准备活动

为扩展人类的太空活动，实现载人火星的目标，世界各主要国家的航天人一直在进行积极的准备工作。《全球探索路线图》认为应该在以下 5 个领域开展载人探索任务的准备工作。

4.1 利用国际空间站开展探索任务

国际空间站将至少运行到 2020 年。国际空间站是载人深空探测的起点，利用国际空间站可以验证未来用于支持有关载人小行星探索、月球探索甚至是火星任务的各项关键技术。该项任务涉及诸多方面。

(1) 航天员健康和工作能力

航天员在国际空间站面临诸多健康挑战。有研

究表明，适当的维生素 D 对从空间站返回的航天员的骨骼健康有帮助。

(2) 为期一年的空间站停留任务

历史上，有 4 个航天员在空间站的停留时间超过 1 年。目前，失重研究取得新的进展。为了验证研究结果，国际空间站成员已决定，在 2015 年，将两位航天员在空间站的时间从现在的 6 个月延长到 1 年。

(3) 航天员的自主探索

火星探索时，由于通讯延迟等因素，航天员将会遇到得不到地面控制中心指令的情况，必须自主操作复杂的航天器。空间站上的研究，已经开始采取延迟通信信息、提高航天员自主性的研究。

(4) 生命支持

一方面更新现有生命支持系统，提高可操作性，减少系统本身的质量、消耗量以及电能需求；另一方面开发新的可替代的技术，比如，CO₂ 和水蒸汽技术 Amine Swing-bed，并将之用在猎户座飞船上。

(5) 空间电力和能源

在空间站已开发新的太阳能电池材料，为空间站上的设备进行充电，同时，正在研究先进可再生燃料电池技术

(6) 人机合作

机器人已开始承担空间站日程的维护任务，节省了航天员大量的时间。航天员也通过控制和利用机器人在轨开展了很多高价值的空间探索。

(7) 先进通讯和导航

在空间站设备的保证下，自动通讯、导航和对接等技术已经非常成熟，但是深空导航和对接技术有着很大的不同，这些深空技术可以在空间站上进行测试，有一些导航系统正在空间站上进行评估。

(8) 新的宇航服

今后几年，下一代宇航服子系统将会运到空间站。

(9) 进入和返回系统

完成空间站任务的飞行器还要再进入大气层，返回地球，这为研究飞行器进入大气层的环境提供了机会。

(10) 材料、结构和制造

长时间的空间探索需要经历超紫外线、超热和

超辐射的环境，这就需要飞行器的材料满足这些艰苦的条件。空间站为此提供了一个平台，2015 年将测试第一个充气居住舱，评估其结构的完整性以及是否有泄漏现象。

4.2 机器人探测任务

机器人探测任务通常是载人探索的先驱，如，“阿波罗”计划中的“勘测者”、“月球轨道器”等机器人，其先驱任务为载人月球任务提供了重要信息。近些年，美国发射了几个火星探测任务，获取了有关火星表面和大气环境关键的数据，将指导探索系统的开发和运行方案。正如机遇号 (Opportunity)、勇气号 (Spirit) 及好奇号 (Curiosity) 漫游车在火星上所证实的，机器人是人类探索活动的开路先锋。有报告分析指出，进一步送机器人上月球和小行星执行任务可以帮助人类拓展漫游星球的知识和能力，从而使人类更安全更且更有成效地执行探索太空的任务。2020 年前，人类还将组织数次机器人探测任务，将了解月球、小行星、火星及其卫星作出重要的贡献。同时，机器人探测与未来载人活动的持续协调开展，既有利于将人类文明扩展至近地轨道以远，又可以使人类更好地了解宇宙。至 2025 年，各有关国家计划的机器人探索任务见图 1 所示。

4.3 先进技术开发

对于所有参与航天机构来说，技术开发具有战略性的意义，多国合作参与的探索活动的实质就是各参与方的技术贡献。NASA 于 2010 年出台了《NASA 空间技术路线图草案》，^[4]梳理出由 14 个技术领域组成的综合技术路线图，国际空间探索协调组将这 14 个技术领域作为全球空间探索活动中重点开发的技术领域，12 个参与国要共同开发这些技术，主要包括：空中火箭推进技术、太空电能和能源储存技术、机器人以及人机合作与自动系统、通讯与导航、生命支持和太空居住系统、长时间人类健康、人类探索目的地系统、太空进入和下降以及着陆系统、热处理系统等。

4.4 新型空间系统和基础设施开发

低地球轨道远端的载人探索需要新系统和先进技术形成新的能力，比如，重型运载器、航天员运送能力、足够大的用于向深空运送关键系统和结构的空间推进段、服务和支援系统（包括舱外活动、

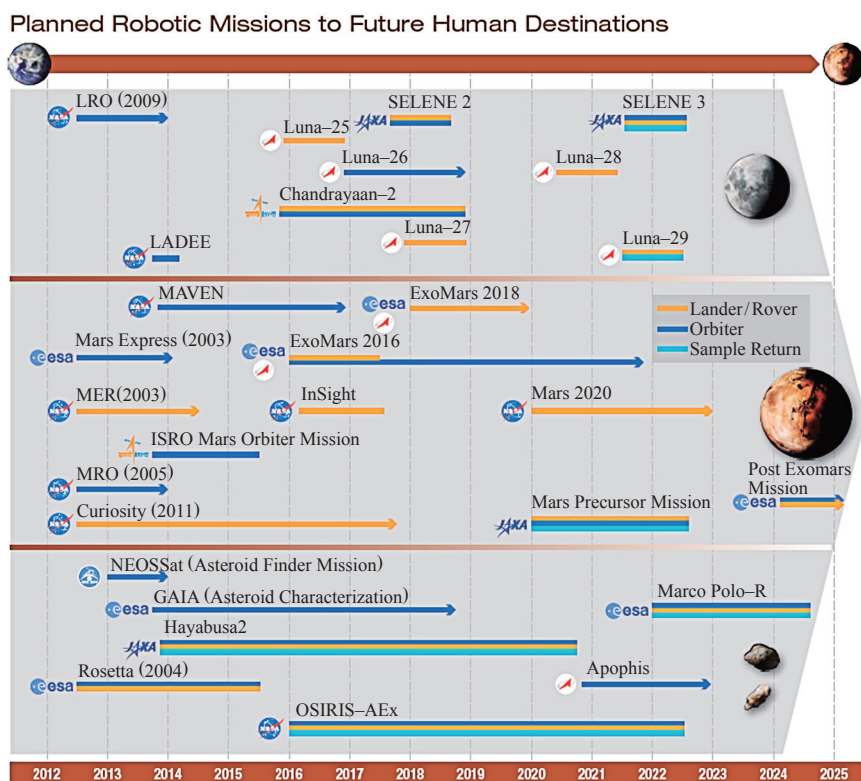


图1 未来机器人航天任务一览

资料来源：ISECG, The Global Exploration Roadmap, 2013。

外太空服和机器人系统)、极端太空环境的模拟活动等等。目前,正在开展研制的系统包括重型运载器、乘员运输航天器以及先进的舱外活动服等,NASA和俄罗斯航天局正在开展这方面的技术研制工作。加拿大、日本等几个国家的航天机构正在投资开展先进机器人系统的研发工作,并且具有很强的竞争能力。几个航天机构将要承担探索体系和系统研究,这些研究主要用于支持与探索任务方案和机构作用相关的独立决策。通过国际空间探索协调组参与各国的协作来定义任务方案和设计基准任务,各参与机构独立决策,决策时考虑将他们的研究与各方协商达成的探索任务和体系保持一致。

4.5 模拟活动

美国、加拿大等国家在独立开展或合作开展模拟活动。目前,研究人员广泛地模拟太空任务,辅助完成近地轨道之外的探索准备。这些活动不仅可以模拟环境来试验探索技术、概念系统及其互操作性,支持人体健康和工作能力相关问题的研究,也可以为公众参与提供重要的机会,使学生、宇航员、科学家和工程师等汇聚一堂,建造网络并加强

合作。各航天机构可以共享他们的规划和经验教训,促进探索的准备活动。

5 路线图的落实

《全球探索路线图》是12个国家和组织航天机构共同合作的结果,反映了不同国家和组织共同应对空间探索挑战、提高空间探索成功率的积极努力。这一路线图虽然不具有强制性,不需要任何一方做出承诺,但在推动全球性、协调性、战略性、综合性的空间探索方面迈出了重要一步。ISECG提出,落实该路线图:一方面,要和各有关国家、组织自己的航天计划协调一致;另一方面,也要加强和企业的对话,吸引企业从参与近地轨道空间探索扩展到近地轨道以

远空间探索上来。2013年8月20日,美国国家航空航天局局长查尔斯·博尔顿(Charles Bolden)公开发表讲话,谈到这项战略,他说:“我们联合世界各地的航天机构,正扩大对太阳系的探索范围,并扩展我们人类和技术的能力。”最近,美国从6000名申请人中新选定了8名宇航员,博尔顿说:“他们将参与规划并且可能执行人类有史以来首次登上小行星和火星的使命。”^[5]

为推动《全球探索路线图》的落实,ISECG提出以下建议:

(1) 各国航天机构的负责人要继续积极向公众宣传空间探索的价值,得到民众的支持,实现载人航天探索的可持续发展;

(2) 各国航天机构在国际空间站、月球区域、月球表面的近期合作以及机器人探索可以用来模拟火星探索,为今后的火星探索做好准备;

(3) 要提出新的空间探索理念,比如,要进一步实践人辅助取回样品以及人机合作理论,更多地发挥人在太空中的作用,最终实现空间探索的共同目标;

(4) 机器人科学探索是为准备近地轨道以远载人航天而获得数据的一项重要技术，那些数据既要支持科技发展，也要支持载人航天探索；

(5) 各航天机构要进一步努力，降低长期太空探索对航天员健康带来的风险。

6 结语

《全球探索路线图》发布一个月后，ISECG 又发布了《空间探索带来的利益》(*Benefits Stemming from Space Exploration*)^[6]，从技术创新、文化和激情、全球挑战等 3 个方面总结和展望了空间探索给人类带来的利益，希望以此激发更多的航天热情，使空间探索得到更多、更大、更强的支持。

我国参与了 2007 年的《全球探索战略：合作框架》，但 2011 年公布的《全球探索路线图》中的 12 个参与者中却没有包括我国，这次《全球探索路线图》升级版的参与者也没有包括我国。尽管如此，由于这一空间探索路线图体现了世界各主要航天国家在深空探索、登陆火星等方面的共识，因此，希望能为我国今后载人航天发展提供借鉴。■

参考文献：

[1] ISECG. The Global Exploration Roadmap[R/OL].

(2013-08)[2014-02-16]. http://www.nasa.gov/sites/default/files/GER-2013_Small.pdf.

[2] NASA. The Global Exploration Strategy: The Framework for Coordination[R/OL]. [2014-02-16]. http://www.nasa.gov/pdf/178109main_ges_framework.pdf.

[3] ISECG. The Global Exploration Roadmap[R/OL]. (2011-09)[2014-02-16]. http://www.globalspaceexploration.org/wordpress/wp-content/uploads/2013/10/GER_2011.pdf.

[4] NASA. Space Technology Roadmaps: The Future Brought to You by NASA[R/OL]. (2013-12-13)[2014-02-22]. <http://www.nasa.gov/offices/oct/home/roadmaps/index.html#U463dPvSZIB>.

[5] Buck J. Next Generation of Explorers Takes the Stage, NASA, International Community United in Support of Bold Space Exploration Program[EB/OL]. (2013-08-20)[2014-02-22]. <http://www.nasa.gov/press/2013/august/next-generation-of-explorers-takes-the-stage/#UmrIp1NQhg8>.

[6] ISECG. Benefits Stemming from Space Exploration[R/OL]. (2013-09)[2014-03-07]. <http://www.globalspaceexploration.org/wordpress/wp-content/uploads/2013/10/Benefits-Stemming-from-Space-Exploration-2013.pdf>.

“The Global Exploration Roadmap” Defines the New International Space Strategy

WANG Jia-cun

(Department of Science and Technology of Shandong Province, Ji'nan 250014)

Abstract: The International Space Exploration Coordination Group (ISECG) released *The Global Exploration Roadmap* in August, 2013. The Roadmap defines a long-range human exploration strategy which is the result of agreement by major space countries. As ISECG members, the main space powers agree that the strategy should begin with the International Space Station and expands human presence into the solar system, leading human missions to explore the surface of Mars. To implement this new space roadmap, ISECG present the following observations like maintaining a focus on delivering exploration value to the public, simulating preparations for future missions to Mars, mitigating the human health and performance risks. The paper introduces *The Global Exploration Roadmap*, hoping to provide references for Chinese manned space flight missions.

Key words: aerospace science and technology ;space exploration ;The Global Exploration Roadmap