

News & Highlights

SpaceX 星际飞船安全着陆，但载人登陆火星之路依然漫长

Chris Palmer

Senior Technology Writer

2020年12月至2021年3月，位于美国加利福尼亚州霍桑市的美国太空探索技术公司（SpaceX）发射了4艘星际飞船原型机。SpaceX 希望有一天通过这种巨型火箭能将人类送上火星。这4艘星际飞船原型机要飞到几英里高，执行腹部拍水式俯冲的指令，但都在随后着陆过程中或在着陆后不久爆炸了[1]。2021年5月5日，SpaceX 发射的第五艘星际飞船原型机 SN15 终于取得了成功（图1），在着陆地球后没有发生爆炸[2]。作为火箭行业的新手，SpaceX 通过迅速反复试错，正不断向人类登陆火星这一目标前进。与此同时政府资助的太空机构预计，未来人类将使用已有半个世纪历史的核推进技术和离子推进技术，将宇航员送往红色的火星以及更远的地方。

总部位于美国加利福尼亚州帕萨迪纳市的行星学会（Planetary Society）的高级太空政策顾问及首席宣传员



图1. 2021年5月5日，SpaceX的星际飞船原型机SN15从美国得克萨斯州博卡奇卡发射台起飞，随后进行了亚轨道试飞。该火箭成功着陆，而未像之前4艘原型机那样发生爆炸。来源：Steve Jurvetson（CC BY 2.0）。

Casey Dreier 表示：“SpaceX 的系统开发非常迅速，为探索太空提供了巨大的可能性。”

SpaceX 希望星际飞船实现完全可重复使用，以能够在飞向火星和更远目的地的长期飞行中运送宇航员和货物。目前原型机高45 m，形状像喷漆罐，由三台猛禽发动机（Raptor engine）驱动。SpaceX 的创始人 Elon Musk 曾指出人类必须占领火星以确保生存[3]，最近他又提出了新的目标——在2026年实现首次载人登陆火星任务[4]。

虽然 Musk 很乐观，Dreier 则不然。他表示：“SpaceX 还未曾将任何东西送上火星，更别说人类了，所以 SpaceX 需要先向人们展示他们有这样的能力。不过我确实希望他们在此方面进行尝试。”

为了实现 Musk 的目标，SpaceX 的下一步工作是试飞一个高60 m 的星际飞船原型机。此次发射最初定于2021年7月，但后来由于环境评估被推迟[5]。可能在2021年年底，SpaceX 将对一个“全栈式”（full stack）的组合进行轨道发射[6]。该组合由70 m 高的“超重型”助推器（由30台猛禽发动机提供动力）和一艘安装6个猛禽发动机的星际飞船组成，推力总计为 7.1×10^7 N [5]，将是迄今为止最强大运载火箭，即美国国家航空航天局（NASA）土星五号（Saturn V）运载火箭的两倍。最终，星际飞船及其配置也有望在很大程度上取代重型猎鹰火箭[7]。

到目前为止，SpaceX 已在美国得克萨斯州博卡奇卡的研发基地对所有星际飞船进行了试飞。去年，该公司的一家子公司购买了两个老式深水石油钻井平台，并着手改装成海上发射台，Musk 计划用该发射台将轨道版本星际飞船预先发射至太空[8]。星际飞船一旦进入轨道，在飞往火星前将完成燃料补给，预计火星之旅需要8-9个月之

久[6]。星际飞船由液氧和甲烷提供动力，这意味着宇航员不仅可以凭借这些燃料飞往火星，还可以从火星表面提取更多燃料，用于返程或前往更远的地方。

不过短期内，火星可能不是星际飞船唯一的目的地。NASA曾与SpaceX签订了一项关于将宇航员送上国际空间站的合同[9]，作为阿尔忒弥斯计划[2]的一部分，NASA还在2020年4月授予SpaceX 29亿美元，用于将宇航员从月球轨道送至月球表面。此外，美国太空军计划给SpaceX投资4800万美元，用于研究如何使星际飞船能在1 h内将90 t物资运抵地球上的任何地方[10]。SpaceX自身也计划使用星际飞船一次性将400颗星链卫星（Starlink satellite）送入轨道，构建一个由30 000颗卫星组成的网络，以在全球提供高速互联网[11]。

美国新泽西州普林斯顿大学的等离子体物理学教授、普林斯顿等离子体科学与技术项目负责人Samuel Cohen说道：“从某种角度来说，SpaceX是组装者。他们使用现有技术，对星际飞船进行改进，然后整合各个部分。因此，他们才能生产出如此强大、可靠和可重复使用的火箭，但他们并没有真正推进基础研究。”

虽然SpaceX在扩大现有化学火箭技术应用规模方面取得了显著成功，同时向火星发射机器人探测器已变得更普遍[12]，但许多火箭专家认为，定期载人前往火星需要核动力。不过可能要在Space首次将人类送上火星10多年后才能实现使用核动力将人类送上火星。

2021年4月，美国国家科学院、工程院和医学院（NASEM）发布了一份报告[13]，总结道：“安全运送人类往返火星需要改进航天器推进技术。与非核动力方法相比，先进的核推进系统，包括核热推进（NTP）和核电推进（NEP），或可大幅减少宇航员的飞行时间、火箭质量以及宇航员暴露于空间辐射下的时间。”

NTP系统利用核反应堆产生的热能，加热火箭推进剂来产生推力，而NEP系统则使用由核反应堆热能产生的电力驱动的推进器来产生推力。然而，这两种技术提供的推力都不足以使航天器挣脱地球引力和大气层，因此，由这两种技术推动的航天器首先需要用化学火箭将其送入轨道。NASEM报告指出，这些系统于20世纪60年代首次原型化，其快速发展，可能促使载人登陆火星的运载工具于2039年前被成功研制[13]。

每单位质量的核推进剂产生的推力是每单位质量化学火箭推进剂产生的推力的两倍，这使得核动力飞船在三个月内就能飞抵火星，花费的时间不到常规动力星际飞船的一半。Dreier说道：“在太空中待的时间越长，事情就会变得越复杂、越困难。飞往火星花费的时间越短，将人类

送上火星的其他方面（如工程设计、物资供应和后勤）的挑战就会越小。”

相对而言，当飞抵比火星更远的目的地时，飞船利用核动力比利用其他动力所花时间更短。核聚变动力研究团队的领导人Cohen说道：“要登上火星，利用化学火箭和核动力火箭所花费的时间不相上下。但要飞抵比火星更远的目的地，核动力火箭则具有明显优势。”

2021年7月，NASA和美国能源部合作，分别向三家公司提供了500万美元，用于设计核动力火箭[14]。2021年4月，美国国防高级研究计划局（DARPA）选择了三家承包商，即通用原子公司（General Atomics，美国加利福尼亚州圣地亚哥市）、蓝色起源公司（Blue Origin，美国华盛顿州肯特市）和洛克希德·马丁公司（Lockheed Martin，美国马里兰州贝塞斯达市），以在2025年前展示核动力火箭的第一阶段成果。该核动力火箭最终将通过其“敏捷地月运行演示验证火箭”（DRACO）项目[15]飞向月球。然而，目前美国尚无关于利用核动力火箭将人类送上火星的明确计划[14]。

俄罗斯也期望利用核能进行星际旅行。2020年12月，俄罗斯联邦航天局（Roscosmos）宣布，计划于2030年开发、建造并发射一个名为“宙斯”（Zeus）的由500 kW核反应堆驱动运输和能量模块，进行长达50个月的深空任务，绕月球飞行，访问金星，然后再访问木星[16]。此外，俄罗斯正在计划建造一个核动力空间站[16]。虽然“宙斯”和空间站的发展计划尚未公布，但Dreier对此表示怀疑。他说道：“虽然俄罗斯在太空方面有很多野心，但在过去20年，他们的劳动力、可靠性和能力都严重下降。因此，我认为，要将理想变为现实，他们还有很长的路要走。”

2021年5月，中国的天问一号着陆巡视器成功着陆火星[12]。目前，中国也在考虑从2033年开始载人登陆火星计划[17]。然而，中国国家航天局计划采取不同的方法，即利用离子推进。离子推进也是一项已有几十年历史的技术，最初由美国物理学家Edwin Hall在20世纪30年代提出[18]。该技术利用电力加速离子来产生推力。

以太阳能供电提供动力的离子推进器已被应用于众多小型航天器和天宫空间站核心模块。2021年6月，天宫空间站迎来了3名宇航员，使其成为首个由离子推进的载人飞船[18]。然而，离子推进器在太空运输大型有效载荷方面无法与化学火箭相比，且与核推进器一样，离子推进器的推力也不足以将航天器发射到太空。离子推进器产生的带电粒子还会损坏发动机部件，随着时间的推移航天器的完整性将逐渐降低，危及宇航员的生命安全。此外，

离子推进器产生的推力相对较小，尽管理论上通过改进可以使该技术在到达火星所需的时间上与核推进器不相上下[19]。

然而，中国科学院的研究人员表示，他们已经找到了一个可以大大提高离子推进器推力的解决方案[18]。在天宫空间站核心模块的新动力设计方案中，他们在发动机内壁建立了一个强大的磁场，其能击退破坏性粒子，由此保护发动机免受侵蚀。该推进器用一种独特的陶瓷材料设计而成，可长时间承受高温和辐射。研究人员表示曾对推进器原型进行了长达11个月以上的连续燃烧测试，期间未出现任何问题。

化学、核能以及离子推进技术，无论事实证明哪一个是最好的解决方案，“制造火箭从某种意义上来说，都只是人类登陆火星过程中最简单的部分。困难的部分在于闭环生命支持、运输过程中无法更换的组件是否可靠、宇航员的心理健康状况以及与地面控制中心的有效沟通。想要成功就必须解决这些问题。” Dreier 说道。

References

- [1] Chang K. The SpaceX test rocket for Mars goes up again, and explodes again [Internet]. New York City: New York Times; 2021 Mar 30 [cited 2021 Jul 7]. Available from: <https://www.nytimes.com/2021/03/30/science/space/spacex-starship-launch.html>.
- [2] Chang K, Roston M. SpaceX successfully lands prototype of Mars and Moon rocket after test flight [Internet]. New York City: New York Times; 2021 May 5 [cited 2021 Jul 7]. Available from: <https://www.nytimes.com/2021/05/05/science/spacex-starship-launch.html>.
- [3] Solon O. Elon Musk: we must colonise Mars to preserve our species in a third world war [Internet]. London: The Guardian; 2018 Mar 11 [cited 2021 Jul 7]. Available from: <https://www.theguardian.com/technology/2018/mar/11/elon-musk-colonise-mars-third-world-war>.
- [4] Sheetz M. Elon Musk is 'highly confident' SpaceX will land humans on Mars by 2026 [Internet]. New York City: CNBC; 2020 Dec 1 [cited 2021 Jul 7]. Available from: <https://www.cnbc.com/2020/12/01/elon-musk-highly-confident-spacex-will-land-humans-on-mars-by-2026.html>.
- [5] Wattles J. SpaceX likely to miss July date for Mars rocket test [Internet]. Atlanta: CNN; 2021 Jun 16 [cited 2021 Jul 7]. Available from: <https://www.cnn.com/2021/06/15/business/spacex-orbital-test-scn/index.html>.
- [6] Brown M. SpaceX Starship: map and schedule for Elon Musk's ambitious orbital flight [Internet]. New York City: Inverse; 2021 May 20 [cited 2021 Jul 7]. Available from: <https://www.inverse.com/innovation/spacex-starship-first-orbital-flight-map>.
- [7] Leslie M. The world's most powerful rocket. *Engineering* 2019;5(5):822-3.
- [8] Sheetz M. SpaceX bought two former Valaris oil rigs to build floating launchpads for its Starship rocket [Internet]. New York City: CNBC; 2021 Jan 19 [cited 2021 Jul 7]. Available from: <https://www.cnbc.com/2021/01/19/spacex-bought-former-valaris-oil-rigs-to-build-starship-launchpads.html>.
- [9] Palmer C. Astronauts hitch first ride aboard private rocket to space station. *Engineering* 2020;6(11):1207-9.
- [10] Berger E. The US military is starting to get really interested in Starship [Internet]. New York City: Ars Technica; 2021 Jun 1 [cited 2021 Jul 7]. Available from: <https://arstechnica.com/science/2021/06/the-us-military-is-starting-to-get-really-interested-in-starship/>.
- [11] Sheetz M. SpaceX wants to land Starship on the moon within three years, president says, with people soon after [Internet]. New York City: CNBC; 2019 Oct 27 [cited 2021 Jul 7]. Available from: <https://www.cnbc.com/2019/10/27/spacex-president-we-will-land-starship-on-moon-before-2022.html>.
- [12] Leslie M. Three new missions head for Mars. *Engineering* 2020;6(12):1336-8.
- [13] For humans to reach Mars, advances are needed in space nuclear propulsion technologies [Internet]. Washington, DC: National Academies of Science, Engineering, and Medicine; 2021 Feb 12 [cited 2021 Jul 7]. Available from: <https://www.nationalacademies.org/news/2021/02/for-humans-to-reach-mars-advances-are-needed-in-space-nuclear-propulsion-technologies>.
- [14] NASA announces Nuclear Thermal Propulsion reactor concept awards [Internet]. Washington, DC: NASA; 2021 Jul 13 [cited 2021 Jul 15]. Available from: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-announces-nuclear-thermal-propulsion-reactor-concept-awards>.
- [15] DARPA selects performers for Phase 1 of Demonstration Rocket for Agile Cislunar Operations (DRACO) Program [Internet]. Arlington: NASA; 2021 Apr 12 [cited 2021 Jul 7]. Available from: <https://www.darpa.mil/news-events/2021-04-12>.
- [16] Bendix A. Russia plans to launch a nuclear-powered spacecraft that can travel from the Moon to Jupiter [Internet]. New York City: Business Insider; 2021 May 25 [cited 2021 Jul 7]. Available from: <https://www.businessinsider.com/russia-nuclear-powered-spacecraft-moon-venus-jupiter-2021-5>.
- [17] Woo R, Gao L. China plans its first crewed mission to Mars in 2033 [Internet]. London: Reuters; 2021 Jun 23 [cited 2021 Jul 7]. Available from: <https://www.reuters.com/business/aerospace-defense/china-plans-its-first-crewed-mission-mars-2033-2021-06-24/>.
- [18] Chen S. How China's space station could help power astronauts to Mars [Internet]. Hong Kong: South China Morning Post; 2021 Jun 2 [cited 2021 Jul 7]. Available from: <https://www.scmp.com/news/china/science/article/3135770/how-chinas-space-station-could-help-power-astronauts-mars>.
- [19] Skocik C. VASIMR plasma engine: Earth to Mars in 39 days? [Internet]. Plant City: Spaceflight Insider; 2017 Jul 19 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.spaceflightinsider.com/conferences/vasimr-plasma-engine-earthmars-39-days/>.