

美国国家航空航天局 《战略技术投资规划》(2017)

前言

一个多世纪以来，美国国家航空航天局(NASA)及其前身——美国国家航空顾问委员会(NACA)一直在致力于推动美国最雄心勃勃和最具挑战性的技术研发事业。通过创新技术研发计划，NASA圆满完成了多项科学和太空探索任务，并丰富了我们对于地球、太阳系以及整个宇宙的认识。NASA技术研发计划促进了我们对航空学的理解，并增强了维持全球运输和贸易的航空系统。为延续和引导这一创新传统，确保未来任务和国家目标的实现，NASA特制定了2017年《战略技术投资规划》(STIP)。

《战略投资规划》是NASA全局范围内技术投资组合管理流程中的重要一环。它为2015年NASA技术路线图中详细列出的技术提供了投资指导原则。STIP过程以NASA战略目标为起始，最终形成未来20年NASA必须支撑的技术研发需求。《战略投资管理规划》采用一种分析技术，由NASA各任务部提供直接输入，并对技术投资进行分类，从而为对整个技术门类的均衡投资提供指导。下文所述的指导原则符合NASA的一贯承诺，即在优化技术投资的同时，还将确保投资的透明度，以最大程度地服务国家利益。相关目标、投资分类和指导原则共同构成了一套切实可行的行动规划，帮助NASA和相关部门共同推动未来20年的技术研发和创新。

NASA 对技术的定义：

为实现特定功能，通过运用多个工程学学科形成某种设备、工艺或子系统的一种方案。

背景介绍

此次《战略投资管理规划》(2017)是对 2012 年版《战略航天技术投资规划》的重大升级。这次升级反映了继 2015 年 NASA 技术路线图升级以来技术方面取得的进展以及 NASA 需求发生的变化。升级后的技术路线图按照 15 个重点技术领域进行内容组织，并引入了航空学。技术路线图汇总了 NASA 有望研发的各种技术。但是，路线图涵盖的技术门类超出了 NASA 可以资助的范围。因此，NASA 必须了解各项技术门类对其任务和国家的价值，并慎重进行技术投资。

《战略投资管理规划》对 NASA 整个技术研究和开发投资提供了高层战略指导，并定义了调整 NASA 技术投资组合的指导原则。NASA 技术首席办公室对整个技术研发项目进行年度分析评估，并按照《战略投资管理规划》给出的原则评估当年投资执行情况。相关评估结果通过 NASA 技术执行委员会(NTEC)由各任务部和办公室进行审查^①。必要时，NTEC 还会就技术投资组合是否符合 NASA 目标问题提议进行重新调整。

NASA 各任务部和办公室通过各自计划制定和实施 NASA 技术投资组合中的具体内容。这些计划(见图 1)推动了 NASA 全局范围内各个中心与其他政府部门、工业界、学术界建立合作伙伴关系，进行技术研发创新。有些研究活动属于 NASA 重点技术研

^① NTEC 是 NASA 高级技术顾问机构，就 NASA 技术能力、技术差距和投资问题提供决策咨询。NTEC 相关活动包括：根据任务需要和技术研发进展调整技术优先开发项，协调各任务部之间的重点领域以及使短期、中期和长期投资达到均衡(见 NASA 技术执行委员会章程 NC 1000, 38)。

发计划，但在许多聚焦特定任务的计划中也包含了研发活动。NASA 的技术研发活动也会随着任务需求和部门的变化不断调整。

根据《战略投资管理规划》确定的投资门类指导原则，NASA 每年均会对技术投资组合进行评估。NASA 技术投资组合包括 NASA 正在进行的全部技术研发和相关研究活动，体现为 NASA 技术研发计划、大型任务计划的组成部分和基础性的工程活动。表 1 给出了 2016 年 NASA 技术投资组合评估包含的各种计划简要说明。

表 1 2016 年 NASA 技术投资组合评估包含的相关计划简表

任务部/办公室	项目
载人探索和运行任务部	先进探索系统
	人类研究计划
	国际空间站
	猎户座航天器
	空间生物和物理研究计划
	空间通信和导航计划
	空间运载系统计划
科学任务部	先进组件技术
	先进信息系统技术
	天体物理学研究分析计划
	太阳物理学：科学技术和仪器开发
	自耕农(欧罗巴技术)
	地球科学技术的太空验证
	仪器孵化器
	火星技术
	太阳系探索设备成熟度
	南希·格蕾丝·罗曼技术基金
	推动太阳系观测的星际仪器概念
	行星科技仿真研究
	放射性同位素动力系统技术
	战略天体物理技术
研究/先进技术倡议	

续表

任务部/办公室	项目
空间技术任务部	百年挑战计划
	中心创新基金计划
	飞行机遇计划
	颠覆性研发计划
	NASA 先进创意计划
	小企业创新研究/小企业技术转让
	小型航天器技术计划
	空间技术研究基金计划
	技术演示任务计划
航空研究任务部	先进航空飞行器计划
	空天作业和安全计划
	一体化航空系统计划
	革命性航空创意计划
安全和任务保障办公室	非破坏性评估计划
首席信息官办公室	IT 创新挑战系列

NASA 未来的成功很大程度上将取决于在科学研究和技术研发方面的投资和创新。NASA 重视发现、发明和新技术演示，以推动太空探索和科学研究，推动航空学发展，提高地球人类福祉。这一激情和目标正是 NASA 愿景和使命的推动力。

2017 版《战略投资管理规划》的制定过程

2017 版《战略投资管理规划》体现了对 2015 版《NASA 技术路线图》进行的分析，是 NASA 技术投资组合管理流程的一部分（如图 1 所示）。通过从 NASA 全局视角提供指导原则，这一投资组合管理流程是对各任务部内部预算制定和项目选择流程的一种补充。为编制《战略投资管理规划》，除《路线图》提供的相关信息外，

NASA 还从多种信息源，包括美国国家科学院国家研究委员会 (NRC)^① 近期所做的技术路线图分析报告中收集信息。国家研究委员会对更新后 NASA 技术路线图进行了评估，并对各种技术的轻重缓急进行了分类，明确了最优先、较优先、次优先技术。为明确支持 NASA 的空间科学、地球科学或探索任务，国家研究委员会确定了应最优先和较优先研发的技术门类。对那些尚不清楚如何克服相关技术障碍的技术、已经经过验证的相关技术，或者 NASA 能轻松从外部技术发展中借鉴的技术，国家研究委员会将其划归为次优先技术。

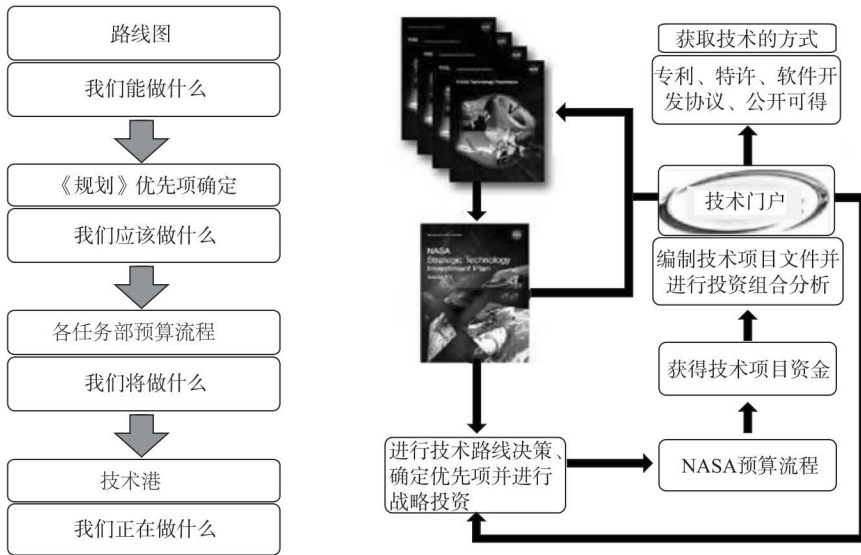


图 1 NASA 技术项目管理流程

NASA 在确定《战略投资管理规划》初步架构时，国家研究委员会信息只是若干信息输入之一。国家研究委员会独立确定的技术优先项划分与 NASA 的分类有所不同，这是因为 NASA 的分类

^① 国家科学、工程与医学院，2016 年，《NASA 航天技术路线图和优先事项的修订》，华盛顿特区：美国国家科学院出版社，数字对象识别码：10.17226/23582。

采用了不同的分析准则，并得到了各任务部的一手资料。除此之外，《战略投资管理规划》分析还吸收了一些主要文件的相关信息，包括美国太空政策和 NASA 战略规划等。综合上述各种信息，初步形成了技术分类，为由来自 NASA 各任务部代表、中心技术委员会、首席科学家办公室、首席工程师办公室、首席技术专家办公室和首席信息官办公室等单位的代表组成的《战略投资管理规划》领导小组就最终技术分类共识的达成提供了基础。综合考虑技术成熟度、最终能力目标和 NASA 技术投资目标等因素，对各项技术进行了全面评估。

驱动技术研发的战略目标

2014 年 NASA《战略规划》文件详细指出了三大目标：拓展知识和能力的边界，增加在太空中的机遇；增强对地球的了解，开发技术以改善人类在地球家园的生活品质；服务美国民众，并通过有效管理人力资源、技术能力和基础设施，完成 NASA 使命。在上述目标激励下，《战略投资管理规划》确定了指导 NASA 技术投资组合的四大目标，如图 2 所示。

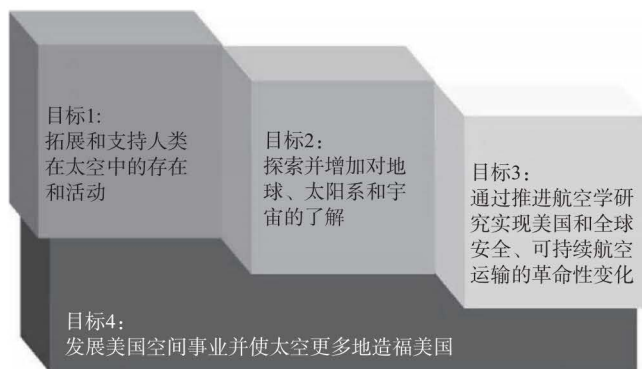


图 2 驱动技术研发的四大战略目标全面涵盖 NASA 航空航天、科学和探索任务所需的各种能力

目标 1：拓展和支持人类在太空中的存在和活动

为实现持续时间较长的深空载人探索，人们必须进行创新，以克服众多挑战。将人类安全可靠地送入近地轨道以外的太空，是未来载人太空探索的基本要求，并需要在推进系统和环境控制等许多系统方面都取得创新。

目标 2：探索并增加对地球、太阳系和宇宙的了解

扩展人类对地球、太阳系和宇宙的科学知识是未来实现载人探索任务的基本前提。同样重要的是，科学任务还为人们提供相关知识，从而了解地球，以及与之相关的气候和环境面临的挑战。技术创新不仅能增强人类探索能力，还能支持人类雄心勃勃的科学任务。

目标 3：通过推进航空学研究实现美国 and 全球安全、可持续航空运输的革命性变化

长期航空学研究为那些能够引领工业创新和社会发展的新概念奠定了基础。未来航空系统面临着新的挑战，包括不断发展以满足全球的新需求，如何整合无人飞行器系统，以及如何研发其他创新理念的飞行器，以满足不同需要^①。

目标 4：发展美国空间事业并使太空更多地造福美国

NASA 通过与行业 and 外国政府机构建立富有成效的合作伙伴关系，不断强化与商业航天部门的合作。NASA 这一努力帮助整个航天事业拓展相关知识，并推动了创新。与此同时，商业航天的繁荣以及由此形成的专业能力也使 NASA 受益。

规划实施的指导原则

如下原则用于帮助指导 NASA 技术投资战略 and 投资组合的执

^① 本战略技术研发目标与航空技术研究任务部的战略实施计划保持一致：
<https://www.nasa.gov/aeroresearch/strategy>。

行。这些战略尤其有益于 NASA 对技术投资组合进行实时分析，以保持与战略目标的一致性。图 3 为技术成熟度水平描述。



图 3 技术成熟度水平(来源：NPR 7123.1 B)

NASA 将对路线图中确定的 15 个技术领域进行均衡投资

15 个技术领域主要关注未来任务所需能力并对每个技术领域相关的技术研发需求进行了详尽描述。对 15 个技术领域的恰当投资能确保全面和稳健的技术能力。2017 年《战略投资管理规划》对 15 个技术领域的投资重点和投资水平给出了指导原则，必要时，各任务部和 NASA 技术执行委员会(NTEC)对这些指导原则可重新定义。

NASA 将对各种技术成熟度技术进行均衡投资

技术成熟度水平分为 9 个档次，在 1 级技术成熟度水平，通过基础研究掌握的信息将从一个创意转向一个具体技术应用。处于第 9 级技术成熟度水平的技术，已经完全达到运行状态，并整合进完整的系统，并经过验证，达到设计工作要求，具有合适的可靠度。对处于不同技术成熟度水平的技术进行综合投资可确保稳步形成新能力，同时满足当前的技术需要。为保持这种均衡发展，并将长期创新始终作为优先项，根据国家研究委员会(NRC)建议，NASA 将至少把 10% 的技术投资用于技术成熟度水平为 1 或 2 的技术，包括关键技术、增强技术和革命性技术。

NASA 将对三个投资类别进行均衡投资

2017 年《战略投资管理规划》分析给出了三大投资类别，以指导未来技术研发。三大投资类别分别为关键技术、增强技术和革命性技术类别。下节将详细论述 NASA 对这三大类别进行均衡投资。这些技术类别涵盖 NASA 为实施未来任务所必须开发的基础工程工具、方法和物理资产。《战略投资管理规划》并未将基础工程划分为一个独立类别。因此基础工程属于跨领域技术，对关键技术、增强技术和革命性技术的均衡投资已涵盖这一内容。

NASA 将保持对公众的透明度

技术港网站 TechPort(图 4)全面披露了 NASA 资助的技术研发活动。通过全面披露 NASA 正在进行的活动，TechPort 网站向学术界、工业界和公众提供一个机会，以评估整个技术研发项目，研究他们自己的特定关注领域，并与 NASA 技术路线图和优先投资项目进行对比，从而确定自己擅长领域的未来机会，并发现在技术研发方面潜在的合作机遇。TechPort 可方便人们查找、获取和利用技术开发信息，帮助 NASA 助力创业、创新和科学发现。



图 4 技术港网站首页

NASA 投资分类

2017 年根据《战略投资管理规划》分析标准和规划制定领导小组的建议，2015 年路线图中的技术被分为关键技术、增强技术和革命性技术三大类。这种分类旨在帮助 NASA 分配技术投资。《战略投资管理规划》建议比例为 70/20/10，即 70% 投资用于关键技术，20% 用于增强技术，10% 用于革命性技术研发。需要注意的是，这种分配比例只是 NASA 对各技术门类进行均衡投资的一种设想。附件 A 给出了每个技术分类的完整列表。具体的技术性能参数的目标值可参见 2015 年 NASA 技术路线图。

关键技术

此类技术是 NASA 为完成计划和预期任务所必不可少的决定

性技术^①。关键技术通常能帮助实现多项任务并显著降低风险。这类技术是满足近期需求或具有较长开发周期的能力建设所必须的技术。在许多情况下，关键技术开发都是 NASA 专用技术。

增强技术

增强技术是那些能够显著改善任务性能的技术。这类技术一般是对现有技术或能力的一种改良。增强技术能增加投资回报、安全性或可靠性。通过增强技术实现的性能改善可缓解其他技术系统的局限性，因此对整体任务设计具有较大作用。

革命性技术

革命性技术属于未来变革性技术，能够提供未来任务所需的新能力。革命性技术的研发旨在应对复杂或以前尚未解决的问题。一个可靠的方案或会需要数次迭代，并需要较长的研发时间。能满足上述需要的解决方案通常具有高风险，同时也具有较高回报。这类技术通常成熟度较低，常作为现有解决方案的备选方案。同时，此类技术通常对成本、安全性或可靠性方面往往具有较大影响。

《战略投资管理规划》还明确了一些辅助性技术，即对现有技术性能有所改善，也是关键技术和增强技术研发所需的辅助性技术。虽然 NASA 在整个技术研发周期内会根据需要投资某项辅助技术，但对此类技术不需要进行战略评估。

《战略投资管理规划》确定的投资类型可确保 NASA 能优先开发近期科学发现、载人探索和航空任务所需的技术，与此同时，还能确保未来任务所必须的基础技术的研发。

关键技术投资

NASA 将关键技术分为十大投资领域，按照这种划分方式，

^① NASA 计划和预期任务详见 NASA 任务规划模型 (AMP) ，其他预期任务需要由各任务委员会提出。

对 2015 年 NASA 技术路线图中一个或多个领域的关键技术进行分组。2015 年 NASA 技术路线图确定的关键技术通常属于交叉技术，能满足多项特定任务需求，且能显著降低风险。关键技术还包括能推动航空研究的技术。NASA 的关键技术投资占总技术投资组合的 70%。这些关键技术在 NASA 科学、机器人和载人探索任务中扮演着举足轻重的角色。十大关键技术投资领域(见图 5)分别为：

1. 推进和运载系统；
2. 人类健康、生命维持及居住系统；
3. 目的地系统；
4. 机器人和自主系统；
5. 科学仪器、传感器及光学通信；
6. 太空轻质结构和材料；
7. 再入、下降和着陆系统；
8. 太空能源系统；
9. 先进信息系统；
10. 航空技术。

《战略投资管理规划》领导小组认为，上述十大关键技术领域对落实 NASA 投资战略至关重要。按照相关技术首次投资时间节点，《战略投资管理规划》确定的每项关键技术又可分为近期或中期投资。近期关键技术需要从现在开始就启动相关技术研发投资，以满足计划和预计任务的需要。相比之下，中期关键技术是指从现在算起，相关投资可推迟三年进行的技术研发投入。这类技术未来还可能增加投资。下节重点论述相关技术挑战和 NASA 如何应对这些挑战，以及这些挑战对 NASA 和美国的影响。本节信息主要来源于 2015 年 NASA 技术路线图，NASA 相关技术数据库资料、TechPort 信息，以及各任务部提供的信息。

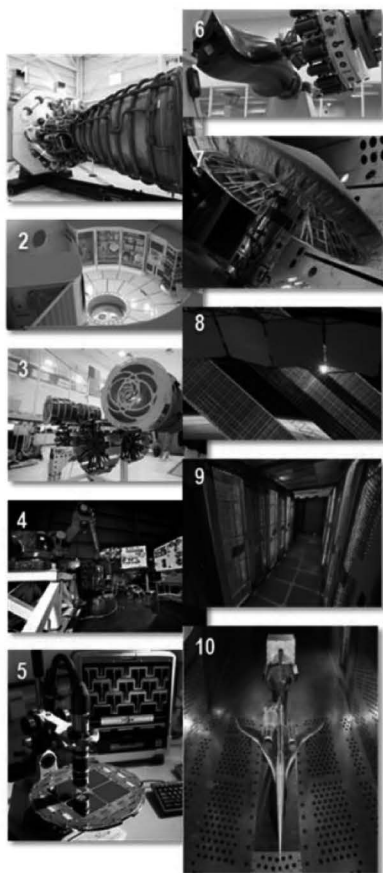


图 5 关键技术门类的十大领域

增强技术的投资

2017 年《战略投资管理规划》关注改善任务表现。增强型技术占 NASA 整个技术投资组合比重的约 20%。为支持《战略投资管理规划》确定的战略，必须对增强性技术进行投资。增强技术能够对现有技术或能力加以完善，提升其性能、安全性和可靠性，从而降低系统风险。

增强性技术涵盖众多的技术研发需求。例如，放射性同位素

和化学发电、机器人系统的活动部件、科学仪器中的光学元件以及结构测试工具和方法，都属于增强性技术领域。除 NASA 外，国际社会和其他国家政府机构也把增强性技术列为优先开发内容。例如，美国政府其他机构和国外空间机构对合作开发化学传感器、小型化遥测装置、居所和先进制造等增强技术表现出浓厚兴趣。商业界则比较关注医疗诊断和预后技术、无源热控制技术以及低温液体传输机制。总之，通过为已知任务需求提供能力改善，增强性技术可帮助 NASA 实现其四大战略投资目标。

革命性技术的投资

2017 年《战略投资管理规划》确定的革命性技术投资将为未来任务提供全新的技术。这类技术投资比例将占 NASA 总技术投资额的 10% 左右。革命性技术通常是不够成熟的技术，也为现有解决方案提供了一个全新选择。革命性技术的研发投资通常具有更高的风险，同时也有较高的回报，与此同时，革命性技术能显著降低成本、提高安全性和可靠性，并使能力得到极大提升。革命性技术投资令 NASA 始终处于创新前沿，这类技术涵盖深空推进系统、革命性通信和导航技术以及纳米技术等众多技术领域。

通信和导航方面的革命性创意，包括 X 光和量子技术，有望给现有的光学和无线电系统带来颇有价值的替代方案。然而，只有对这些领域持续的投资，才能推动革命性技术的不断进步，帮助 NASA 更好地了解 and 验证未来通信和导航的潜力，并有望使 NASA 的任务发生革命性转变。

NASA 另一项革命性技术投资是美国空天系统中的自主飞行系统，具有深远的意义。用于检测、验证、认证的方法将帮助可信的人机系统协作，并应用于自主系统。通过对此类革命性技术的投资，加之对其他更为成熟技术的投资，NASA 将更能有效权衡高风险、高回报技术的研发投入。