

美国规划空间技术优先发展方向与领域

编者按:2012年2月1日,美国国家科学研究委员会(NRC)在其网站上公布了《NASA空间技术路线图与优先发展领域:重塑NASA的技术优势,为空间新纪元铺平道路》报告(以下简称报告)。报告共约500页,内容分为两大部分:一是系统研究了美国未来深空探索面临的技术挑战与高优先发展技术领域的路线图,以及确定这些技术挑战与高优先发展领域的方法与标准;二是详细介绍了拟制该报告的指导委员会与6个专题研究小组的相关信息,以及在14个技术领域中各自面临的技术挑战与应优先研发的技术。报告详细描述了美国深空探索未来30年空间技术的发展方向和近5年空间技术领域可能取得的重大突破,对研究了解NASA未来一个时期重点投资的空间技术投资方向,把握世界载人航天技术发展趋势有一定参考价值。由于受《2011世界载人航天发展报告》出版时间所限,我们仅将该报告摘要部分内容进行编译,供研究参考。

一、报告出台背景

2010年10月,奥巴马总统签署《2010年NASA授权法案》,要求NASA基于广泛的合作,研究保持空间技术可持续发展的方法。2011年2月,NASA依据新的《国家空间政策》制定了

《2011NASA 战略规划》，作为对总统法案的回应，并指导未来十年 NASA 活动。作为 NASA 制定战略规划工作的一部分，NASA 在 2010 年底研究确定了《NASA 空间技术路线图(草案)》，目的是以战略规划为指导明确 NASA 未来一个时期在空间技术领域的重点投资方向。

为进一步完善路线图，提高其全面性、适用性和指导性，2011 年 6 月，NASA 首席专家罗伯特·布劳恩委托美国国家科学研究委员会开展路线图的优先级评估和咨询工作，广泛收集相关各界的意见和建议，为 NASA 形成最终空间技术发展路线图提供参考咨询。

针对该项工作，国家科学研究委员会成立了一个指导委员会和 6 个研究组，对 14 个领域的路线图进行研究和评审。最终，指导委员会在结合各研究组和外部建议的基础上，从所有 14 个技术领域中筛选出高优先级技术领域，做出结论和建议，形成总报告。

NASA 首席专家将参考美国国家科学研究委员会完成报告，制定未来 NASA 的研发规划计划。出于技术发展存在不确定性的考虑，NASA 计划定期对技术路线图进行更新。

二、报告明确的高优先级发展技术

在《2011 NASA 战略规划》中，NASA 提出了未来十年的 6 个战略目标。其中，除航天领域的战略目标外，有 5 个战略目标与 NASA 的深空探索任务直接相关。NASA 首席专家委员会根据这些战略目标提出的 14 个技术领域发展路线图(草案)，将决定着美国空间技术发展投资方向和深空探索战略任务的完成。

根据报告指导委员会确定的 NASA 技术路线图评估程序与优先发展领域评定标准，6 个专题研究小组在 14 个技术领域的 295 个可能的技术中选取了 83 个高优先级技术。在优先级排序中，指导

委员会仅就这 83 个技术进行评估。研究小组确定的高优先级技术如表 1 所列。

表 1 研究小组选取的具有高优先级的 3 级技术

编号	领域名称	高优先级技术
TA01	发射推进系统	涡轮基组合循环式(TBCC) 火箭基组合循环式(RBCC)
TA02	空间推进技术	电推进 推进剂存储和输送 (核)热推进 微推进
TA03	空间功率与能量存储	太阳能(光伏和热) 裂变 能量分布和传输 能量转换和调节 电池 放射性同位素能量生成
TA04	机器人、遥机器人和自主系统	相对制导运算法则 对接和捕获机构/接口 运输工具系统管理和故障检测、隔离和恢复 灵巧机器人操作 监督控制 极端地形机动 机器人钻孔和采样处理 小型/微重力机动
TA05	通信和导航系统	星上自主导航和机动 时间记录和时间分配 适应性网络拓补 无线电通信系统

美国规划空间技术优先发展方向与领域

编号	领域名称	高优先级技术
TA06	乘员健康、生命保障和居住系统	辐射监测技术 辐射防护系统 辐射风险评估模型 居住 环控生保和居住系统废物管理 长期乘员健康 环控生保水循环和管理 舱外活动压力服 辐射预报 辐射减缓 火灾检测和抑制 空气再生 舱外活动便携式生保系统 火灾补救措施
TA07	载人探索目的地系统	原位资源利用产品/生产 自主后勤管理 建造和组装 尘埃防护和减缓 原位资源利用制造/基础设施等 原位资源利用资源获取 表面机动 食品生产、加工和保存 居住舱升级 小型居住舱 维护系统
TA08	科学仪器、天文台和传感器系统	高对比度图像和光谱学技术 光学系统(仪器和传感器) 探测器与焦平面 原位仪器与传感器 无线航天器技术 用于仪器和传感器的激光器 用于仪器和传感器的电子器件

2011 世界载人航天发展报告

编号	领域名称	高优先级技术
TA09	进入、下降与着陆系统 (EDL)	GN&C 敏感器和系统 刚性热防护系统 柔性热防护系统 高超声速制动器部署 EDL 建模和仿真 EDL 使用仪器和健康检测 大气和表面特征 EDL 系统集成和分析
TA10	纳米技术	(纳米) 轻型材料和结构 (纳米) 能量产生 纳米推进剂 纳米传感器和驱动器
TA11	建模、仿真、信息技术与处理	飞行计算 地面计算 科学建模和仿真 分布式仿真
TA12	材料、结构、机构系统和制造	结构: 创新性、多功能概念 结构: 轻质概念 材料: 轻型结构 结构: 设计和验证方法、无损评估和传感器 机构: 设计、分析工具和方法 机构: 可展开系统、对接系统和接口系统 机构: 可靠性/寿命评估/健康监测 制造: 智能集成制造和赛博实体系统
TA13	地面和发射系统处理	无
TA14	热管理系统	上升/进入热防护系统 低温系统主动热控
<p>注: 以上技术是根据路线图技术领域列出 (TA01 ~ TA14; 在 TA13 中没有高优先级技术)。在每个技术领域内相对优先级次序以降序排列</p>		

三、根据任务目标分析面临的技术挑战

报告中推荐的优先级技术,是根据对 NASA 当前任务计划考量得出的,但是这些优先级技术与 NASA 未来特定的任务不直接关联。在 14 个技术领域路线图之间选择最高优先级技术时,指导委员会建立一个体系框架,平衡 NASA 各任务领域,适当满足最高优先级技术挑战,并期望路线图中未来 30 年规划的前 5 年可以实现一些重大进展。在体系框架内,委员会提出 3 个技术目标,阐明 NASA 任务的范围和相关技术组。

技术目标 A:向低地球轨道以远扩展和保持载人探索活动。这类技术使人类能够在整个太阳系经历长期航行,到达选定目的地,高效工作,然后安全返回。

技术目标 B:探寻太阳系的演变历史,探究地外生命的可能性。这类技术使人类和机器人能够在地球(天体生物学)和其他行星完成就地测量。

技术目标 C:扩展对人类所生存的地球和宇宙的认识。这类技术用于从环绕或飞越地球和行星的平台上以及其他天基和地基天文台上进行观测。

这些技术目标不是独立的,一个独立的任务可能满足不止一个目标。指导委员会认为 NASA 仍将继续在载人探索、空间科学、空间运行、空间技术和航空技术等领域保持平衡发展,因此围绕每个技术目标都独立建立优先权排序,不存在一个技术目标优先于另一个的情况。针对 3 个技术目标,指导委员会根据分领域研究组列出的优先级排序列表,综合评估出每个技术目标的前 10 项技术挑战,如表 2 所列。

表 2 根据技术目标制定的重要技术挑战

<p>根据技术目标 A 制定的重要技术挑战:向低地球轨道以远扩展和保持载人探索活动</p>	<p>根据技术目标 B 制定的重要技术挑战:探寻太阳系的演变历史,通过原位探测探究地外生命的可能性</p>	<p>根据技术目标 C 制定的重要技术挑战:扩展我们对所居住的地球和宇宙的认识</p>
<p>A1) 更好地开展航天活动:极大地降低航天活动的总成本,增加航天活动的可靠性和安全性</p>	<p>B1) 更好地开展航天活动:极大地降低航天活动的总成本,增加航天活动的可靠性和安全性</p>	<p>C1) 更好地开展航天活动:极大地降低航天活动的总成本,增加航天活动的可靠性和安全性</p>
<p>A2) 空间辐射对航天员健康的影响:进一步研究空间辐射对航天员健康的影响,开发用于长期航天任务的辐射防护技术</p>	<p>B2) 精确着陆:提高在不同星体、不同时间着陆的安全性和精确度</p>	<p>C2) 新天文望远镜:研制新一代天文望远镜,目的是发现宜居星球、推动太阳物理学的研究、研究围绕亮天体运行的暗天体结构。开发高对比成像和光谱技术,使天文望远镜的敏感度、视场、能探测的暗天体的光谱范围都达到前所未有的指标</p>
<p>A3) 长期航天活动对航天员健康的影响:将长期航天活动对航天员健康的影响减到最小(此处不包括空间辐射对航天员健康的影响)</p>	<p>B3) 机器人探索性能:提高移动机器人系统自动导航和蔽障的能力,提高着陆系统适应星体表面危险的能力</p>	<p>C3) 轻型空间结构:研制新型的轻型材料和结构,用于降低空间系统质量,提高其性能,包括(1)运载火箭和有效载荷系统;(2)太空和星体表面的乘员保护系统,该系统是具备辐射防护和自我监测能力的多功能结构,所需乘员维护时间最短;(3)轻型的、可展开的综合孔径雷达天线,包括用于大孔径空间系统的可靠机构和结构,可在发射时紧凑地收拢,最终能够精确展开</p>

美国规划空间技术优先发展方向与领域

<p>根据技术目标 A 制定的重要技术挑战:向低地球轨道以远扩展和保持载人探索活动</p>	<p>根据技术目标 B 制定的重要技术挑战:探寻太阳系的演变历史,通过原位探测探究地外生命的可能性</p>	<p>根据技术目标 C 制定的重要技术挑战:扩展我们对所居住的地球和宇宙的认识</p>
<p>A4) 长期航天任务中的环境控制和生命保障系统:研制用于低地球轨道之外长期载人航天任务的可靠的闭环环境控制与生命保障系统(ECLSS)</p>	<p>B4) 生命探测:提高用于原位分析的敏感器的性能,以确定其他星体上目前是否存在有机物,以前是否出现过生命,是否有具备维持生命必须条件的生存环境</p>	<p>C4) 提高可用功率:采用可广泛用于 NASA 各项任务环境的可靠电源系统,改进产生和存储能量的方式,突破航天任务对功率要求的限制</p>
<p>A5) 乘员快速运输:具备乘员快速往返火星或以远星体的推进能力</p>	<p>B5) 高功率电推进:开发高功率电推进系统,开发电源系统技术</p>	<p>C5) 提高数据传输率:提高通信数据率,扩大通信范围</p>
<p>A6) 轻型空间结构:研制新型的轻型材料和结构,用于降低空间系统质量,提高其性能,包括(1)运载火箭和有效载荷系统;(2)太空和星体表面的乘员保护系统,该系统是具备辐射防护和自我监测能力的多功能结构,所需乘员维护时间最短;(3)轻型、可展开的综合孔径雷达天线,包括用于大孔径空间系统的可靠机构和结构,可在发射时紧凑地收拢,最终能够精确展开</p>	<p>B6) 自主交会和对接:进行高可靠性的自动交会和接近操作,捕获自由飞行的空间物体</p>	<p>C6) 高功率电推进:开发高功率电推进系统,开发电源系统技术</p>
<p>A7) 提高可用功率:采用可广泛用于 NASA 各项任务环境的可靠电源系统,改进产生和存储能量的方式,突破航天任务对功率要求的限制</p>	<p>B7) 提高可用功率:采用可广泛用于 NASA 各项任务环境的可靠电源系统,改进产生和存储能量的方式,突破航天任务对功率要求的限制</p>	<p>C7) 软件设计:研制新的计算机设计、分析和仿真方法,用于材料系统、结构系统、热系统、EDL 系统和其他系统的设计、验证和可靠性测试</p>

根据技术目标 A 制定的重要技术挑战:向低地球轨道以远扩展和保持载人探索活动	根据技术目标 B 制定的重要技术挑战:探寻太阳系的演变历史,通过原位探测探究地外生命的可能性	根据技术目标 C 制定的重要技术挑战:扩展我们对所居住的地球和宇宙的认识
A8) 运送到星体表面的质量:向太阳系的星体表面发射更多的有效载荷	B8) 运送到星体表面的质量:向太阳系的星体表面发射更多的有效载荷	C8) 结构监测:开发监测长期探测任务系统的结构健康状况和可维持性,包括敏感器的综合性和响应的星上系统的性能
A9) 精确着陆:提高在不同星体、不同时间着陆的安全性和精确度	B9) 轻型空间结构:研制新型的轻型材料和结构,用于降低空间系统质量,提高其性能,包括(1)运载火箭和有效载荷系统;(2)太空和星体表面的乘员保护系统,该系统是具备辐射防护和自我监测能力的多功能结构,所需乘员维护时间最短;(3)轻型的、可展开的综合孔径雷达天线,包括用于大孔径空间系统的可靠机构和结构,可在发射时紧凑地收拢,最终能够精确展开	C9) 改进飞行计算机的性能:研制先进的飞行设备、可以进行低功率实时飞行计算的系统软件和容错硬件,目的是进行自动着陆、交会和星体表面危险规避
A10) 自主交会和对接:进行高可靠性的自主交会和接近操作,捕获自由飞行的空间物体	B10) 提高数据传输率:提高通信数据率,扩大通信范围	C10) 低温存储与运输:开发采用无损技术的长期低温存储和运输系统

四、明确最高优先级发展技术

由于可预期的预算有限,报告最终确定了未来 5 年内应给予重点关注的 16 项最高优先级技术。这 16 项技术选自前面列出的 83 项高优先级技术,而这 83 项高优先级技术选自经修订的路线图中的 295 项关键技术。表 3 列出了将重点投资的 16 项最高优先级发

展技术。

表3 根据目标分类的最高优先级技术

目标 A 的最高优先级技术	目标 B 的最高优先级技术	目标 C 的最高优先级技术
载人航天任务的辐射减缓技术	导航、制导与控制	光学系统(仪器与敏感器)
长期任务中的乘员健康	太阳能发电(光电和热电)	高对比度成像和光谱技术
环境控制与生命保障系统	电推进	探测器和焦平面
制导、导航与控制	裂变发电	轻型多功能材料和结构
(核)热推进	进入、下降与热防护技术	低温系统的主动热控制
轻型多功能材料和结构	原位仪器和敏感器	电推进
裂变发电	轻型多功能材料和结构	太阳能发电(光电和热电)
进入、下降与热防护技术	极端地形机动性	

报告建议,NASA 首席专家可以根据清单内容,以可预期的资金成本,将清单中的这些高优先级技术给予研发经费预算,年度经费预算额 5 亿~10 亿美元。

报告认为,一直以来技术突破是 NASA 成功的关键,但是随着深空探索任务广度深度的不断扩展,技术发展的目的变得越来越不明确。目前,NASA 进入到转型阶段,从过去制定一个合适的目标,到如今需要从多个相互冲突的备选目标中进行谨慎抉择。因此,报告强烈建议 NASA 应将更多的精力投入到如何优选前沿技术发展上来。

(北京空间科技信息研究所)