

空间科学规划及对航天运输系统的需求

吴季

(中国科学院国家空间科学中心, 北京 100190)

摘要: 空间科学不仅能够推动我国在基础科学研究领域取得重大科学突破, 还能够有效牵引、带动航天高新技术的发展。中国科学院空间科学战略性先导科技专项是“十二五”时期我国空间科学领域最重要的系统性进展, 开启了中国空间科学发展的新篇章。“十三五”时期, 我国将继续研制、发射一系列新的空间科学卫星, 这对航天运输系统提出了新的技术发展需求。发展空间科学必将推动我国的航天强国、世界科技强国建设进程。

关键词: 空间科学; 空间科学先导专项; 航天强国

中图分类号: V11

文献标志码: A

文章编号: 2096-4080 (2018) 02-0017-05

Space Science Planning and its Demand for Space Transportation System

WU Ji

(National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: Space science can not only promote China to achieve significant scientific breakthroughs in basic scientific research, but also drive the development of high technology effectively. The CAS Strategic Priority Program (SPP) on Space Science is the most important systematic progress in the space science field of China during the 12th Five-Year period. Its implementation ushers a new era for China's space science. During the 13th Five-Year period, China will develop and launch a series of new space science satellites. It adds the demands for the quick development of new technologies of the space transportation system. We can be sure that the development of space science will certainly promote the building process of China's space power and the world's scientific and technological power.

Key words: Space Science; Strategic Priority Program on Space Science; Space Power

0 空间科学是建设航天强国的重要支撑

空间科学是以航天器为主要平台, 研究发生在地球、日地空间、行星际空间乃至整个宇宙空间的物理、天文、化学以及生命等自然现象及其规律的科学。空间科学的研究对象包括宇宙、生

命、暗物质、引力波、太阳的活动规律和地球系统的演化等, 占据了自然科学的宏观和微观两大前沿。空间科学具有两个鲜明的特点: 一是必须基于卫星/航天器平台, 到空间中开展科学实验及探索, 取得科学发现; 二是空间科学研究投入高、风险大, 属于有组织开展的定向研究工作, 涉及

收稿日期: 2017-11-10; 修订日期: 2018-03-08

作者简介: 吴季 (1958-), 男, 中国科学院国家空间科学中心研究员, 中国空间科学学会理事长, 国际空间研究委员会 (COSPAR) 副主席, 国际宇航科学院 (IAA) 院士, IEEE 会员, 中科院“空间科学(一期)先导专项”负责人。主要研究领域包括: 分布式空间探测技术、微波辐射干涉成像技术, 以及空间科学与技术发展战略和政策研究。E-mail: wuji@nssc.ac.cn

大量航天共性技术。科学史已经充分证明，对宇宙和太空的探索引发了大量科学发现和进展，不断突破着人类的认知极限，极大地推动了人类科学技术的发展。

空间科学卫星计划具有明显的探索性及技术创新性，它与应用卫星计划相比存在很大差别（见图1）。首先，空间科学计划的建议，往往通过科学家团队自下而上（Bottom-up），通过项目申请的方式提出，体现的是科学家对科学前沿问题的思考及创新思想。在科学家提出计划建议后，则由计划管理部门按照一定程序及原则开展遴选，组织实施。其次，空间科学计划主要致力于基础

科研，成果主要体现为公开发表的学术论文；计划的成果要用这些论文的质量和数量来评价^[1]。在实践中，一类空间科学计划具有极其突出的科学目标重大性，一旦实施取得突破，将促使人类在认识宇宙和自然中取得革命性的重大科学突破，但其成果数量相对可能较少；另一类空间科学计划的科学目标参与度很高，众多科研人员将参与到计划的研究实施中来，并产出大量的科学论文，对空间科学的学科发展将会产生很强的带动性和牵引作用。这两类空间科学计划，无论哪一类都将推动国家的基础科学发展，并带动相关技术创新。

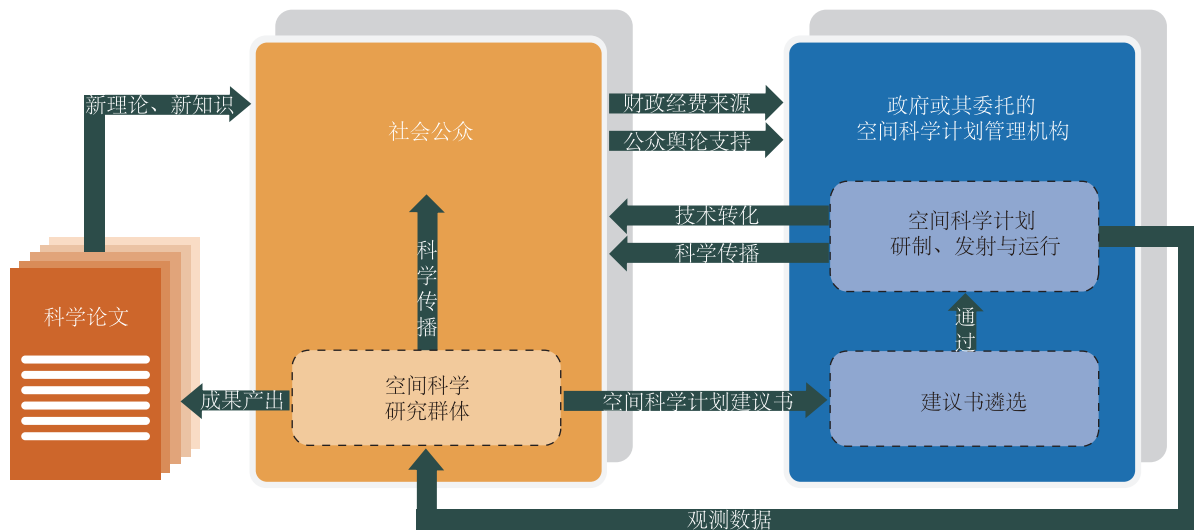


图1 空间科学任务各利益相关方关系图

Fig. 1 Relation of stakeholders in space science task

基础研究是整个科学体系的源头，也是撬动所有技术问题的总机关、装备发展的原动力^[2]。在科学发展史早期，重大基础科学突破大都是通过个人，经过自由探索研究取得的。在人类科学技术发展到一定阶段后，有组织的定向基础研究则成为了取得基础领域重大科学突破的重要途径和手段。近代至今，由国家组织优势力量开展体现国家意志的定向基础研究获得重大科学突破的比例不断增大^[3]。

发展空间科学是实现有组织的定向重大基础研究的重要工具之一。发展空间科学不仅能够推动我国在基础科学领域实现重大突破，实现从现代科学知识的“使用者”到“创造者”的转变；还将为航天高技术创新带来重要的驱动力，为航天技术的创新发展不断注入新的活力。同时，这些高新技术在向地面的转化应用中，将不断开辟

新的应用领域，为国家安全和社会经济发展做出重大贡献。

正是由于空间科学对建设航天强国、科技强国的强有力支撑作用，我国高度重视空间科学的发展。2016年5月30日，在全国科技三会上，习近平总书记发出了将我国建设成为世界科技强国的号召，指出“必须推动空间科学、空间技术、空间应用全面发展”^[4]。在党的“十九大”报告中，习总书记强调，“要瞄准世界科技前沿，强化基础研究，实现前瞻性基础研究、引领性原创成果重大突破……为建设科技强国、质量强国、航天强国……提供有力支撑”。

1 “十二五”我国空间科学取得重要进展

空间科学战略性先导科技专项于2011年1月正式启动实施，总目标是通过自主和国际合作科

学卫星计划,在最具优势和最具重大科学发现潜力的科学热点领域,实现科学上的重大创新突破,带动相关高技术的跨越式发展,发挥空间科学在国家发展中的重要战略作用。

“十二五”时期,空间科学先导专项聚焦宇宙和生命的起源及演化和太阳系与人类的关系两大重要科学前沿,部署研制、发射了暗物质粒子探测卫星(悟空)、实践十号返回式科学实验卫星、量子科学实验卫星(墨子号)和硬 X 射线调制望远镜卫星(慧眼),同时还部署了空间科学背景型号、空间科学预先研究项目。通过上述项目的部署和实施,空间科学先导专项将开展黑洞性质及极端条件下的物理规律、量子力学完备性检验、暗物质、空间环境下的物质运动规律与生命活动规律等方面的研究,努力取得重大科学突破;开展背景型号项目科学目标凝练及关键技术攻关、空间科学任务创新概念研究、有效载荷关键技术研究、地面标定及短时飞行验证等工作,为空间科学的长期可持续发展奠定科学技术基础。

经过“十二五”专项的实施,已经立项的 4 颗科学卫星已经相继成功发射。截至 2017 年 11 月,暗物质粒子探测卫星“悟空”巡天观测已经完成 3 次全天区覆盖,首次发现了宇宙高能电子 TeV 拐点及其 TeV 以上的精细结构,首个重大科学发现在《Nature》发表。实践十号返回式科学实验卫星完成 15 项国际首次实验,其中小鼠早期胚胎在太空中顺利完成从 2 细胞到囊胚的全程发育,是世界首次实现哺乳动物胚胎在太空发育。量子科学实验卫星“墨子号”圆满实现千千米级的星地双向量子纠缠分发、星地量子密钥分发、地星量子隐形传态等 3 大科学目标,成果在《Science》和《Nature》上发表。硬 X 射线调制望远镜卫星 HXMT“慧眼”在首个双中子星并合引力波事件发现过程中做出了重要贡献。

空间科学先导专项已于 2017 年 11 月 14 日通过了中国科学院组织的专项总体验收。专项完成了全部研究内容,实现了科学目标,取得了一批具有国际影响力的重要成果,发挥了空间科学在国家发展中的重要战略作用。专项建立了我国第一个科学卫星系列,促进了中国空间科学走上快速发展的新路径。专项建立了自战略规划、预先研究、背景型号、立项论证与工程研制,直至科学运行、产出评估的完整的空间科学发展链条;

专项所开展的空间科学发展战略规划研究工作,为至 2030 年我国空间科学的发展指出了方向,绘制了发展蓝图。其重要研究成果——空间科学卫星系列被纳入了国家科技创新发展规划;专项建立了以“首席科学家+工程两总”为标志的科学卫星工程管理体制,建立了完备的专项组织管理机制;建设了先进的专项公共平台及基础设施,凝聚、培养了一支高水平的专项任务研制队伍,为后续组织实施专项任务奠定了重要的科学研究、工程管理、基础设施和人才队伍基础。

自 2016 年起,空间科学卫星已连续 3 年入选习近平总书记的新年贺词。2016 年 8 月,空间科学卫星系列入选国务院《“十三五”国家科技创新规划》,对国家未来的科技布局产生了深刻影响。空间科学先导专项作为“十二五”期间我国空间科学领域最重要的系统性进展,开启了中国空间科学发展的新篇章^[5],同时也为实现中国空间科学的长期可持续发展奠定了坚实基础。

2 “十三五”科学卫星计划简介

为了全面落实党和国家领导人对发展我国空间科学的重要指示,中国科学院对“十三五”乃至 2030 年前我国的空间科学发展路径进行了战略研究,制定了相应的发展规划,并自下而上地征集遴选了面向“十三五”及以远的空间科学卫星任务。

“十三五”期间,中国科学院将立足国际基础科学前沿领域,围绕“宇宙和生命是如何起源和演化的?太阳系与人类的关系是怎样的?”两大主题,在我国科学家关注及具有优势的领域,组织实施爱因斯坦探针(EP)卫星、先进天基太阳天文台(ASO-S)卫星和太阳风-磁层相互作用全景成像卫星计划(SMILE)等新的空间科学卫星计划,深化人类对宇宙和自然规律的认识。

爱因斯坦探针(EP)卫星质量约 1050kg,运行在近地 550km~650km 圆轨道上,倾角 $\leq 30^\circ$,设计寿命 ≥ 5 年。EP 卫星将通过监测 X 射线天空,发现和探索宇宙中的极端剧变天体和事件,研究天体的活动性。它将以高于现有设备一个数量级的探测灵敏度,在软 X 射线波段开展快速巡天监测,系统性地探测和研究各种时标上的 X 射线暂现源和天体的 X 射线时变。结合其快速星载后随观测和暂现源警报分布能力,爱因斯坦探针任务预期将在宇宙极端剧变天体和事件,特别是沉寂

黑洞及其爆发、引力波事件的电磁波对应体等领域做出突破性的科学发现（见图2）。

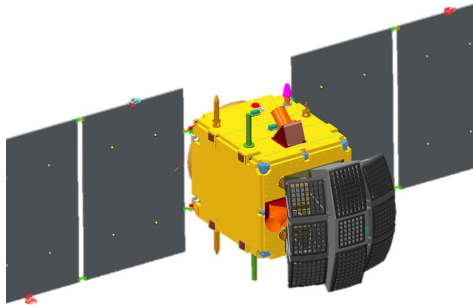


图2 爱因斯坦探针卫星艺术概念图
Fig. 2 An artist's view of EP satellite

先进天基太阳天文台（ASO-S）卫星质量约900kg，运行在近地太阳同步晨昏轨道上，高度为720km，倾角约 98° ；设计寿命 ≥ 4 年。ASO-S卫星将同时观测对地球空间环境具有重要影响的太阳上两类最剧烈的爆发现象——耀斑和日冕物质抛射（CME），研究耀斑和日冕物质抛射的相互关系和形成规律。观测太阳大气不同层次对太阳爆发的响应，研究太阳爆发能量的传输机制及动力学特征。探测太阳爆发，预报空间天气，为我国空间环境的安全提供保障。观测全日面太阳矢量磁场，研究太阳耀斑爆发和日冕物质抛射与太阳磁场之间的因果关系（见图3）。

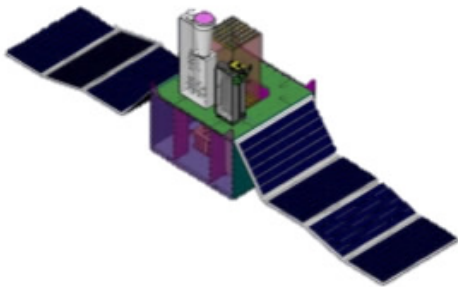


图3 先进天基太阳天文台卫星艺术概念图
Fig. 3 An artist's view of ASO-S satellite

太阳风-磁层相互作用全景成像卫星计划（SMILE）卫星整星质量不超过2000kg，运行在近地点高度 >5000 km，远地点高度 $17\sim 21R_e$ ，倾角为 $67^\circ\sim 98^\circ$ 的大椭圆轨道上，设计寿命约4年。SMILE卫星是中国和欧空局联合研制的科学卫星。它将探测太阳风-磁层相互作用的大尺度结构和基本模式；认知地球亚暴整体变化过程和活动周期；探索日冕物质抛射事件（CME）驱动的磁暴发生

和发展。SMILE将利用先进的成像技术提供磁层顶、极尖区和极光卵的同步观测和视频，结合天基和地基的太阳风和磁层原位探测结果，提供对影响整个空间天气链条的太阳风-磁层相互作用的首次全景成像观测。该项目将推动磁层物理学的发展，在预测及减轻空间天气灾害方面发挥重要作用（见图4）。

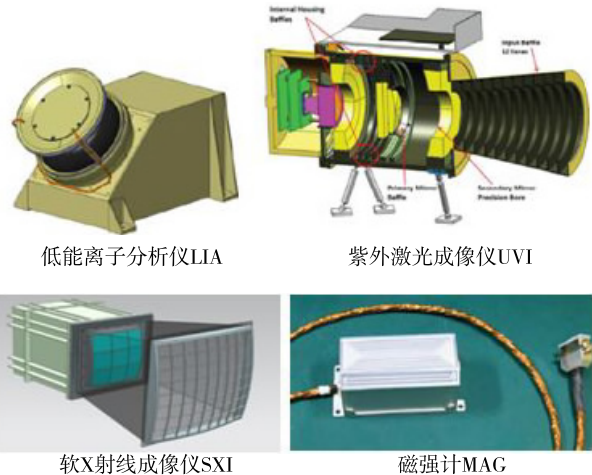


图4 SMILE计划搭载的主要有效载荷
Fig. 4 Major payloads of SMILE

通过研制发射爱因斯坦探针（EP）卫星、先进天基太阳天文台（ASO-S）卫星和太阳风-磁层相互作用全景成像卫星计划（SMILE）等新的科学卫星，预期未来我国将在时域天文学与引力波电磁对应体探测、太阳磁场、太阳耀斑爆发及日冕物质抛射（“一磁两暴”）的关系及变化规律、太阳风与地球磁层间的相互作用及其规律等科学前沿取得重大突破。

3 面向2030年空间科学规划对航天运载的需求

在美国著名学术期刊《Science》公布的125个最具挑战性的科学问题^[6]中，涉及系列空间科学问题：宇宙由什么构成？宇宙膨胀的驱动力来自何方？黑洞的本质是什么？第一颗恒星与星系何时产生、怎样产生？人类在宇宙中是否孤独？太阳系的其他星球上现在和过去是否存在生命等一系列现代科学的未解之谜。

为了解答这些问题，人类需要不断拓展空间探索的疆域，开展更多、更深入到宇宙深处的空间科学探索。其中，空间引力波探测、宇宙黑暗时代探测、小天体探测及采样返回、系外行星探

测、黑洞及其周边探测、木星及其以远的行星际探测、接力木星的太阳极轨探测计划等,将是至 2030 年空间科学领域需要致力突破的重大科学前沿。对宇宙不断深入的远距离探索,对航天运载系统提出了越来越高的技术需求。例如,在进行黑洞及其周边探测时,需要保证探测器的高稳定度,载荷的总质量可能达到 4000kg;行星际通用通信接力系统 (UNICON) 需要发射 6 个激光通信探测器,每个探测器的质量预计超过 1200kg,分 3 次发射后,这些探测器需要在 1.44AU (日地距离,1.5 亿 km) 日心圆轨道上均匀分布;为了实现探测器快速飞向太阳系的边缘,需要考虑传统化学能源、核能、太阳能以及其他新的推进方式,以实现将目前 30 年的旅程缩短到 10 年的目标。

4 结束语

21 世纪以来,空间科学与技术的发展日新月异,人类探索宇宙的步伐越来越频繁,人类活动向太空的延伸也越来越深远。空间科学作为与重大科技突破和人类生存发展密切相关、能够引领密集技术创新的前沿交叉学科,占据了自然科学的宏观和微观两大前沿。空间科学卫星对宇宙空间的发现、探索和研究将带来基础科学的重大突破,并引领密集的航天技术(包括航天运载技术)

方面的创新。“十二五”启动实施的空间科学先导专项开启了中国空间科学发展的新篇章,是“十二五”期间我国空间科学领域最重要的系统性进展。在“十三五”时期,中国科学院将继续组织实施空间科学(二期)先导专项,研制发射一系列新的科学卫星,推动我国空间科学的长期可持续发展,为把我国建设成为航天强国、世界科技强国做出应有的贡献。

参考文献

- [1] 吴季. 空间科学任务及其特点综述 [J]. 空间科学学报, 2018, 38 (2): 139-146.
- [2] 中共中央文献研究室. 习近平关于科技创新论述摘编 [M]. 北京: 中央文献出版社, 2016.
- [3] 吴季. 发展空间科学是建设世界科技强国的重要途径 [J]. 中国科学院院刊, 2017, 32 (5): 504-511.
- [4] 习近平. 为建设世界科技强国而奋斗——在全国科技创新大会、两院院士大会、中国科协第九次全国代表大会上的讲话 [M]. 北京: 人民出版社, 2016.
- [5] 中国科学院空间科学战略性先导科技专项研究团队. 开启中国认识宇宙的新篇章——空间科学战略性先导科技专项及进展 [J]. 中国科学院院刊, 2014, 29 (6): 754-763.
- [6] Kennedy D. 125. Science, 2005, 309 (5731): 9. DOI: 10.1126/science.1115951.