

空间科学——探索与发现之源

顾逸东[†]

(中国科学院空间应用工程与技术中心 北京 100094)

2014-07-14收到

[†] email: ydgu@aoe.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20140901

Space science——a fountain of exploration and discovery

GU Yi-Dong[†]

(Technology and Engineering Center for Space Utilization, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China)

摘要 空间科学是空间活动的主要组成部分,是当代最活跃的科学研究活动之一。文章对空间科学及各分支领域(包括太阳物理学和空间物理学、空间天文学、月球和行星科学、空间地球科学、空间生命科学、微重力科学)的研究内容和主要成就做了介绍。空间科学是基础前沿研究的重大领域,中国应将其作为基础科学的突破口重点发展。

关键词 空间科学,空间物理,太阳物理,空间天文,月球与行星科学,空间地球科学,空间生命科学,微重力科学

Abstract Space science is a major part of space activities, as well as one of the most active areas in scientific exploration today. This paper gives a brief introduction regarding the main achievements in space science involving solar physics and space physics, space astronomy, moon and planetary science, space geo-science, space life science, and micro-gravity science. At the very frontier of basic research, space science should be developed to spearhead breakthroughs in China's fundamental sciences.

Keywords space science, space physics, solar physics, space astronomy, lunar and planetary science, space earth space, space life science, micro-gravity science

1 空间时代与空间科学

人类自古就对莽莽苍穹,日升日落,月圆月缺,斗转星移充满敬畏和向往。关于创世和人类起源的神话不绝于人类古文明史。“天地四方谓之宇,古往今来谓之宙”,是中国古代哲人对宇宙朴素而智慧的认知。漫长的岁月里,前辈先贤倾注了很大的精力观天象,创历法,释天惑,试飞天,从未停止过探索和思辨。15—16世纪的文艺复兴运动带来了艺术和科学的革命;19世纪在工业革命背景下科学发展突飞猛进;19世纪末至

20世纪初的第三次科学革命铸就了现代科学技术的基石。二战后,火箭技术受到重视,人类对太空和近地空间、太阳系以及宇宙的观测和研究更加活跃起来。

1957年10月4日,以前苏联第一颗人造卫星“斯普特尼克-1”号进入地球空间轨道为标志,人类终于得以挣脱地球的束缚进入茫茫太空,开辟了被称为“空间时代”的科技发展新纪元。半个多世纪以来,人类开展了大规模的空间活动,共发射了约6000颗卫星和300多艘(次)载人航天器;人类登上了月球,建造了空间

站，深空探测器的足迹遍及太阳系所有行星，观测探索的视野直达可见宇宙的边缘。短短的五十多年中，空间科技取得了人类历史上划时代的巨大成就。人类空间活动和空间科技的进步深刻地改变了社会面貌和人类认知，成为我们所处的这个时代科技发展和进步的显著标记。

空间时代催生出了空间科学——以空间飞行器为主要平台，研究发生在地球、日地空间、太阳系乃至整个宇宙的物理、化学及生命等自然现象及其规律的科学^[1]，在科学发展史上具有划时代的意义。在太空开展科学研究冲破了地球大气屏障和引力束缚，直接面对或深入广袤无垠的宇宙，极大地开拓了人类的视野和活动疆域。1957年至今，空间科学的探索和研究高潮迭起。全世界共发射了约700颗专门从事空间科学研究的科学卫星和深空探测器，建造了多个空间实验室和空间站作为综合性的空间研究设施，开展了数千项实验，实施了几十个大型研究计划，开展了规模巨大的空间科学探测、实验和研究活动。空间科学以前所未有的崭新手段和强大能力开展研究，取得了重大成就，在许多领域中的科学发现有如井喷，革命性的发现源源不断，超过了以往几千年的总和，深刻地改变了人类的宇宙观和自然观。

空间活动(我国称为航天事业)包括空间科学、空间应用、空间技术三个主要方面。空间科学的目的是探索新现象、发现新的科学规律。空间技术造就了空间科学和空间应用，空间科学和空间应用也反过来推动空间技术的进步，成为人类开展空间活动的不懈动力。

2 领域广泛的前沿科学

空间科学发展到今天，已经涉及几乎全部自然科学的前沿领域。我们把空间科学分为太阳物理学和空间物理学、空间天文学、月球和行星科学、空间地球科学、空间生命科学、微重力科学等分支领域。

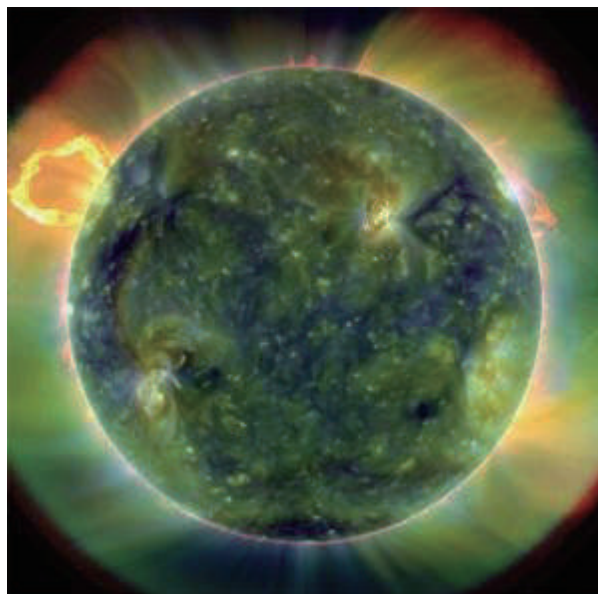


图1 太阳动力学天文台(SDO)拍摄的远紫外太阳耀斑图像(红色区域约6万摄氏度，蓝色和绿色区域超过100万摄氏度)

2.1 太阳物理和空间物理

太阳是距离我们最近、对人类影响最大的恒星，是控制和影响日地空间和太阳系空间物理过程的源头，在这里我们把太阳物理与空间物理联系起来介绍。

太阳物理学研究太阳的结构、物质组成、能量来源与传输、太阳活动与演化及其对太阳系空间的影响；空间物理学主要研究地球空间、日地空间和行星际空间的物理现象和规律，包括太阳、行星际空间、地球和行星的高层大气层、电离层、磁层以及它们之间的相互作用和因果关系。

50多年来，人类实施了多个联合科学计划，发射了约二百颗卫星，并利用地面设施对太阳、日地空间和行星际空间进行了大规模全方位探测，研究了太阳活动区物理、太阳磁场和磁活动，揭示了太阳耀斑的非热特征，发现太阳耀斑和日冕物质抛射(CME)是太阳大气中最剧烈的能量释放过程，还发现了日冕稳定向外膨胀，并证实了由高速等离子体流组成的携带磁场的太阳风充斥着整个太阳系空间，及其与地球和行星磁场

相互作用的过程；发现了地球辐射带(即范阿伦带)，确认了地球巨大磁层的存在；研究了太阳风与地球磁层相互作用导致的磁场重联和磁层亚暴过程，等等。在观测与研究的基础上，建立了全新的较为完整清晰的太阳、地球空间、日地空间和行星际空间物理图像。H·阿尔文因创建太阳磁流体学和宇宙磁流体学获1970年诺贝尔奖。空间物理研究催生了空间天气学，它重点研究剧烈太阳活动引起的空间环境扰动对人类空间活动、地球环境和人类生产生活的影响。

2002年开始的“国际与星同在计划(ILWS)”将发射多颗卫星并加强地面观测，探测卫星的数量和探测技术水平远远超过以往，将在更深层次上搞清楚太阳剧烈活动的机理，及其影响行星际空间和日地链锁变化的过程。

2.2 空间天文

空间天文是利用空间飞行器和探空火箭、高空气球等，在大气顶层和大气层外开展天文观测研究。空间天文将局限于可见光、射电等波段(称为大气窗口)的地面天文观测，扩展到红外/亚毫米波、紫外、X射线和 γ 射线的全电磁波段，并开创了粒子天体物理和引力波探测的新时代。



图2 美国詹姆斯·韦伯太空望远镜(JWST)，计划2018年发射到日地L2点

空间天文学的兴起是天文观测继可见光和射电观测的第三个里程碑，推动了人类认识宇宙的重大飞跃。

宇宙中的低能射电辐射主要来自宇宙大爆炸遗留的辐射背景，红外辐射源于温度较低的红巨星和紫外—可见光经恒星际气体与尘埃吸收之后的再辐射；恒星产生可见光和紫外辐射，紫外还产生于高温辐射和韧致辐射，X射线和 γ 射线源于数千万至数亿度的热辐射和相对论性带电粒子发射的非热辐射，高能 γ 射线直接与核以及高能物理过程相关，反映高能天体的激烈活动过程；原恒星、活动星系和类星体既有很强的X射线、紫外线，也有很强的红外辐射；亚毫米和太赫兹频段内有星际空间无机和有机分子的特征谱线。空间观测能够不受大气层的干扰，以逼近物理极限的精度揭示天体和宇宙的物质状态和物理过程，成为现代天文学和物理学发展和突破的先锋。当然，地面天文观测仍在发挥着重大的作用。

至今全世界共发射了100多颗天文卫星，形成了射电、红外/亚毫米波、可见光、紫外、X射线、 γ 射线、粒子探测、宇宙微波背景测量等天文卫星系列。许多天文卫星规模巨大，采用了最新技术。高能天文观测“爱因斯坦天文台”重达17吨，集成了最先进的X— γ 射线探测器；目前在轨运行的最大的天文望远镜有“哈勃太空望远镜”(可见光，2.4 m口径)和“赫胥尔望远镜”(红外/亚毫米波，3.5 m口径)，空间站上的阿尔法粒子谱仪AMS02重6.8吨，正在制造的詹姆斯·韦伯望远镜口径达6.5 m。

这些观测能力强大的空间天文卫星对银河系内与河外星系的各类辐射源、星际介质、星系团、微波辐射与粒子背景进行了大量观测，发现了数以千万计的红外、X射线和 γ 射线源；发现并证实了黑洞/中子星等致密天体；确定类星体实际上是大质量黑洞吸积过程的表象并认识了类星体对于星系和宇宙结构演化的作用；发现了各类释放巨大能量的宇宙 γ 射线暴并对其物理机制有了明确认识；发现并确认了大批系外行星。精细测定了宇宙微波背景辐射和宇宙年龄，有力支持了宇

宙暴胀模型大爆炸宇宙学。空间天文的成就和相关研究建立了宇宙演化和宇宙重子物质循环的基本物理图像，对于恒星结构演化和宇宙大爆炸模型两大理论框架的建立完善起到了不可替代的作用。R·贾科尼因对X射线天文学的开创性贡献获2002年诺贝尔物理学奖，负责COBE卫星的J·马瑟和J·斯穆特获2006年诺贝尔物理学奖，哈勃空间望远镜的超新星爆发观测对获得2011年诺贝尔物理学奖的宇宙加速膨胀研究起到了关键作用。

由于宇宙暗物质、暗能量问题对当代物理学的巨大挑战，以及能够研究地球上无法企及的天体极端高能过程，从宇观和微观的结合上研究物质世界的基本规律，使空间天文在物理学和天体物理前沿研究中的重要性更加突出，计划中的一大批空间天文项目将取得更大突破。

2.3 月球和行星科学

月球和行星科学研究太阳系行星及其卫星、矮行星、小行星和彗星等各类天体。太阳系是人类处于其中、距离我们最近的典型宇宙恒星系统，月球和行星科学对研究太阳系的形成和演化，深入理解包括地球在内的行星发展变化规律，对研究地球、地外生命、开拓人类活动疆域和开发利用空间资源等具有重要的作用。

五十多年来，月球和行星探测高潮迭起，上百次不载人月球探测和6次成功的阿波罗载人登月，不仅创造了人类历史上伟大的工程技术奇迹，还对月球地形地貌、地质构造、内部结构进行了详细研究，获得了丰富的第一手资料，其中包括月球表面主要由玄武岩和斜长岩组成，化学元素和矿物类型类似地球，月球没有辐射带和全球性内禀磁场，月面存在重力异常，月球壳层的年龄约为46亿年等。

1960—1980年代初，有上百个深空探测器对太阳系所有行星及其重要卫星、小行星、彗星进行了多波段遥感观测和着陆探测，对太阳系各类天体进行了普查。确定火星有以二氧化碳为主的



图3 美国阿波罗计划登月的航天员。阿波罗计划采集了381.7 kg月球样品返回地球

稀薄大气，极冠由干冰和水冰构成；金星覆盖着浓密的高温二氧化碳大气层，星表达90个大气压；木星是以氢氦(比例约3:1)为主的气体行星，接近原始太阳星云的理论组成，存在着惊人的强磁场；木星、土星、天王星、海王星均为气体行星，等等。人类对太阳系及行星的起源与演化有了全新的认识。

上世纪90年代以后，月球和行星探测再一次掀起了新的热潮，中国的探月工程是其中的重要组成部分。“勇气”号(Spirit)、“机遇”号(Opportunity)和“好奇”号(Curiosity)火星车巡视观测不断取得科学发现，展示出一个可能曾经十分湿润的火星，发现火星存在地下水的证据等支持生命可能存在迹象的这一推测，未来将获得进一步的突破性成就。

2.4 空间地球科学

空间地球科学是通过空间遥感观测来研究地球作为一颗行星的整体状态及变化，是研究地球系统科学的重要手段。地球系统是指由大气圈、生物圈(包括人类)、水圈(含冰冻圈)、岩石圈等组成的整体。地球系统科学重点研究地球各圈层之间的相互作用和变化规律。通过空间手段研究地球系统和全球变化，可在大时空尺度上对地球辐射场、大气和海洋流场、水汽和二氧化碳等物质运输循环、能量传输和平衡等进行高精度系统观



图4 太空观测地球(马达加斯加)的多光谱图像

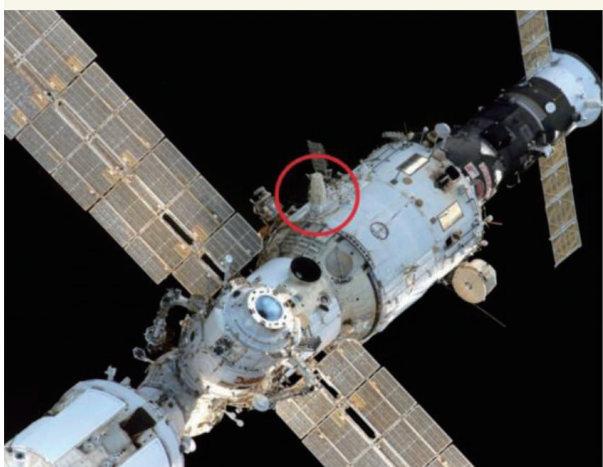


图5 国际空间站上研究航天员受空间辐射能量沉积(LEO)随深度分布的舱外装置

测,具备快捷、动态、真实、多参数、全球性等独特优势。

各国发射了上百颗专门研究地球的卫星,开展了大规模的空间地球观测和全球变化研究,获取了全球重力场,发现了中高层大气放电(所谓红色精灵),探讨了海洋环流变化及其影响,并在太阳—地球辐射收支平衡、极区臭氧洞的发现及动态变化、陆/海/气能量交换及其与区域气候变化的关联、地球生物量与气候变化的关联、三极(南北极和青藏高原)冰雪量变化、全球温度变化等方面取得了系统观测资料和许多新的研究成果。B·克鲁岑、M·莫利纳和F·克罗拉利用紫外探测器在地球极区大气层发现了臭氧洞,从大气化学角度阐明了氯氟烃对臭氧层形成、分解的作用及机

理,因此而获得1995年诺贝尔奖(利用Nimbus 7和Meteor 3卫星)。目前各国结合空间探测开展了大规模的地球系统数值模拟,进行地球动力学过程的定量化研究,正在建立的“数字地球”是地球系统科学的数字表达,将遥感信息(RS)、地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)有机结合起来,从对自然现象的描述向定量化发展,最终为全面搞清全球变化这一影响人类生存发展的重大问题做出显著贡献。

空间地球科学的研究推动了多种新型空间对地观测仪器的巨大技术进步,对资源、环境、大气、海洋、生态、农林业、灾害监测等空间应用发挥了重大作用。

2.5 空间生命科学

空间生命科学包括宇宙生物学,主要研究外太空生命的可能存在和生命起源演化等基本科学问题;还包括基础生物学和人体科学,主要研究地球生物包括人类进入空间后,在空间特殊条件下的响应、影响、生存、变化和适应等科学问题。

宇宙生物学是在宇宙进化框架下了解导致生命起源、进化及分布的过程^[2],涉及生命可居住性、形成生命的元素和分子、生物的早期进化等问题,与空间天文、行星科学有密切的关联和交叉。地外生命研究发现了大批系外行星,发现了火星上的甲烷和水冰,暗示地外低等生命宜居的环境条件是可能存在的,还发现了地球深海底热液口大量稀有微生物,拓展了对于生命存在条件的认识。

生命是最复杂的物质存在形式。地球生物包括人类的进化一直是在地球上实现的,人体科学和基础生物学是在空间特有的微重力、宇宙辐射、节律和磁场变化条件下研究人和各种生物的存在和响应,成为深入探究生命现象本质的重要途径,也是人类长期进行太空探索活动的基础。人类进入太空生活和工作已经圆满实现,已有500多位航天员进入太空,单次最长生活时间

438天,累计(三次)最长时间737天,出舱活动数百次,对在空间长期生存的心血管、肌肉/骨骼系统、免疫功能等一系列生理问题影响有了基本认识,航天医学监护和对抗措施取得了显著进展;研究了多种植物、动物、微生物、水生生物以及动植物细胞和组织在空间的行为,完成了多次种籽到种籽的全周期植物生长,发现了动植物重力感知的可能机理,研究了动植物空间生长发育、节律等变化和内在机制,发现了空间辐射对生物组织的旁效应等。在现代先进的生物研究技术(如芯片实验室、基因组学、转录组、代谢组学等)的支持下,空间生命科学将得到更好的发展,生命之谜也许将在太空中获得启示或解答。

2.6 微重力科学

微重力科学包括微重力流体物理、燃烧科学、材料科学、生物技术以及空间基础物理等分支^[3]。国外也有人把微重力科学分为应用物理和基础物理两大类。微重力环境存在于作惯性运动或环绕地球轨道运动的物体参照系中。空间飞行器可获得持续时间长和较高水平的微重力环境。

微重力流体物理研究微重力条件下的流体力学特殊规律,揭示了被地面重力掩盖的表面(界面)张力梯度驱动的热毛细对流和溶质梯度导致的溶质毛细对流现象,研究了Pr数、体积比及温度梯度等因素对热毛细对流模式、表面波、转捩与振荡的影响;对微重力下气泡液滴迁移与聚集、界面现象、两相流体、沸腾和冷凝过程进行了深入研究,丰富和发展了流体理论。胶体等复杂流体成为新的研究重点。

微重力燃烧科学排除了重力自然对流造成的复杂影响,开展了大量预混气体和气体扩散、液滴、固体颗粒和粉尘等燃烧实验,发现了火焰形态、传播、熄灭、热能和物质运输等新现象,获取了燃烧动力学的本征特性,发现了地面罕见的冷焰燃烧现象(低于燃点的慢燃),为燃烧科学研

究开辟了崭新的途径。

微重力材料科学研究了各种流态(液体、熔体和气态)物质形成材料的过程和机理,开展了金属真空焊接,以及光电子材料、超导材料、玻璃与陶瓷、金属合金、复合材料的空间制备实验,在晶体生长动力学、相分离与聚集、过冷、形核与非平衡相变、熔体热物性测量以及新型纳米材料合成方面取得了丰硕的成果。材料是高技术和高端制造业的基础,微重力材料科学成为材料研究独特的重要途径之一。

空间生物技术方面,利用微重力条件生长出了高质量的蛋白质晶体,实现了高效的生物大分子的分离纯化,以及多种细胞和细胞组织的空间三维培养。

微重力流体物理、燃烧科学和材料科学对指导和改进地面材料工艺和生产加工过程、空间流体管理、生物技术流程以及深入理解燃烧本征过程、改进燃烧数理模型和数值模拟方法开辟了新的途径,将对发展低碳节能燃烧、改进动力系统和防治火灾起到重要作用。空间生物技术将创造新的药物和医疗技术,均具有重要的转化应用前景。

空间基础物理研究的目的是检验现有物理理论,发现新的物理现象和物理规律。在空间开展基础物理研究有特殊的优势,将推动新的物理理论,诸如引力规范场理论、超引力、大统一理论、后粒子标准模型以及临界点附近的物质形态和量子理论的发展。

在相对论与引力物理方面,美国2004年发射



图6 日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)在国际空间站上开展的多液滴燃烧实验

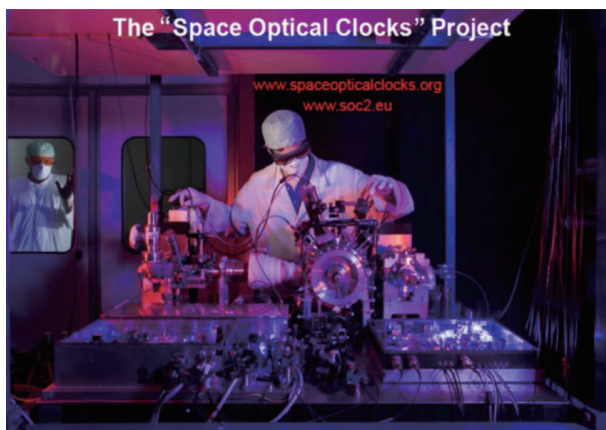


图7 新一代空间光钟的地面实验(SOC)^[4]。ESA ELIPS-4 计划基础物理部分包括冷原子钟、物质波、Bose—Einstein 凝聚和量子物理等

的 GP-B 卫星以很高的实验精度证明了广义相对论关于测地线效应和参考系拖拽效应的理论值；高精度检验等效原理的法国 MicroSCOPE 空间任务正在准备；欧洲空间局组合原子钟计划(ACES)在国际空间站上开展冷原子钟实验，用极高精度时间频率开展精细结构常数和光速方向非均匀性测量研究。

在空间冷原子物理方面，利用微重力条件将量子气体温度降低到空前低温范围，以深入研究玻色—爱因斯坦凝聚体的物理特性和超冷条件下的新奇量子现象，目前已经利用落塔的短时间微重力环境获得了初步结果，并将在国际空间站上开展 PK 温度(比地面低 3 个量级)超冷量子气体特性研究；在低温与凝聚态物理方面，对二元复合等离子体系相分离、颗粒物质速度分布与热平衡态等研究取得了新的成果；美国宇航局(NASA)在航天飞机上先后分别研究了超流氦、约束态低温氦和动能态超流氦的性质；此外，在航天飞机上完成的检验临界现象重整化群理论的实验结果比地面实验结果有了明显改进。从发展趋势看，空间基础物理将是未来发展的重点。

3 探索与发现的不竭源泉

空间科学涉及太阳系和宇宙的起源演化、物

质结构、生命起源、人类生存环境等基本和重大基础科学问题，也包括在空间特殊或极端条件下研究物质运动规律的基础科学问题，是当代基础科学研究的前沿领域之一。

基础研究是科学之本、技术之源。基础科学研究水平是衡量科技发展水平最重要的指标，是创新型国家的标志性要素，科技发达的国家无不将基础研究实力作为国力竞争中最重要的一部分。基础科学研究所体现的追根溯源、探索真理、创新思维、科学精神，以及科学方法和科学素养的传播形成，是一个国家一个民族文明程度和兴旺发达的基础和重要标志。

空间科学和相关研究不断涌现出重大科学挑战，如暗物质、暗能量问题成为“笼罩在物理学上的两朵乌云”，在挑战物理学的底线；地外生命和生命起源、生命本质问题处于新认识的前夜；空间基础物理将创造极高精度的实验条件以验证现代物理基本理论；宇宙起源演化和天体物理促成了宇观(宇宙学)和微观(基本粒子物理学)研究的高度融合，不断探究物质世界的本源；等等。对这些空前集中的基础前沿重大问题的持续研究，正在蕴酿着对物理学、生命科学、宇宙科学和地球科学研究的重大突破，预示新一轮的科学革命或许正在孕育之中，空间科学在这一进程中将扮演重要角色。一个多世纪前，以相对论、量子论创立为标志的科学革命奠定了当代科学技术的几乎全部基础，推动了新的产业革命，深刻地改变了人类社会的面貌。我国由于种种原因已经屡次失去了在历次科技革命中有所作为的机遇，今天和未来我们不可再错失机会。

空间科学已经取得的巨大成就只是自然界奥秘的冰山一角。空间科学涵盖了极为广阔深邃的研究领域，是探索、发现和获取新的知识的不竭源泉。

4 我国基础研究的突破口

发达国家针对科学前沿和重大基础科学问

题，在空间科学方面制定了一系列计划。近期具有代表性的综合空间科学计划有美国 NASA 的《NASA 科学任务部科学规划 2010》^[5]和欧洲空间局 (ESA) 的《宇宙憧憬 2015—2025》^[6]，还有各领域的较为详细的计划。

我国空间科学起步于 1957 年。几十年来，通过卫星搭载、载人航天应用、探月工程任务和少量科学卫星任务以及大量的理论研究取得了显著的进步，具备比较坚实的学术基础和研究积累，学科布局完整，各领域学术和基础理论研究较强。但总体看，我国空间科学活动规模小，投入不足，总体水平与国际水平相比有较大的差距，迄今为止，我国在空间科学领域还没有国际公认的重大科学贡献。科学发现只有第一，我们必须有紧迫感。

近十几年来，我国空间技术快速发展，为发展空间科学提供了强大的技术支撑。我国已批准实施载人空间站工程，将可能成为 21 世纪 30 年代中后期唯一在轨空间站，是我国发展空间科学难得的历史机遇。

已批准的探月三期工程和酝酿中的深空探测计划为月球和行星科学研究提供了重要机遇。

中国科学院先导专项的科学卫星计划将在 2015—2016 年发射硬 X 射线调制望远镜、暗物质探测卫星、量子卫星和实践十号微重力科学和生命科学实验卫星，并开辟了持续发展科学卫星的前景。

我国正处在空间科学蓬勃发展的新起点上。我们应当抓住机遇，充分利用中国空间站开展人体科学和航天医学、空间生命科学和生物技术、微重力流体和燃烧科学、微重力材料科学、微重力基础物理研究，以及适于在空间站上开展的空间天文、空间地球科学、空间物理研究和空间环境监测等重点项目。充分利用探月工程和深空探测科学任务创新科学探测技术和方法，发展月球和行星科学，争取重大科学产出。

我国应当全面规划，统筹安排，制定空间科学中长期发展规划，稳定支持空间科学的发展，

建立空间科学卫星系列，重点发展空间天文、月球和深空探测以及空间物理和太阳物理卫星系列；实施开放战略，加强国际合作，广泛动员国内科技力量；明确重大科学方向，重点跨越，争取重要领域率先突破，形成我国空间科学的特色，推动全面发展；加强成果的转化应用，发挥空间科学产出对我国经济社会发展的支撑作用，加强科技成果的转移转化并取得实效。

我国应将空间科学的跨越作为今后我国航天领域和基础科学发展的主要突破口之一，争取经过 15—20 年的努力，使我国空间科学整体

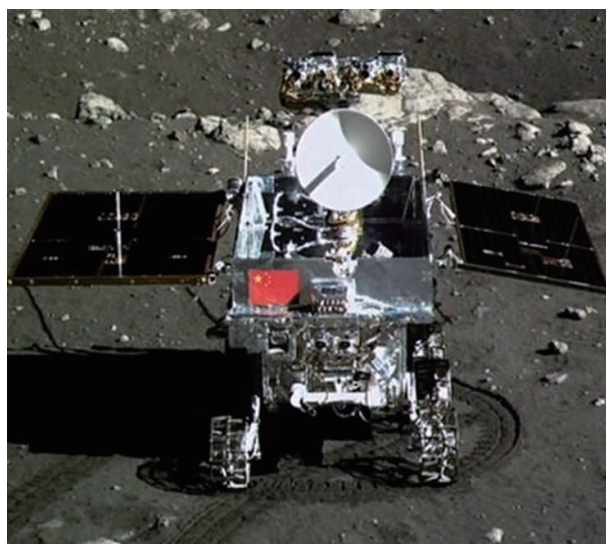


图 8 中国嫦娥三号月球车在月球上

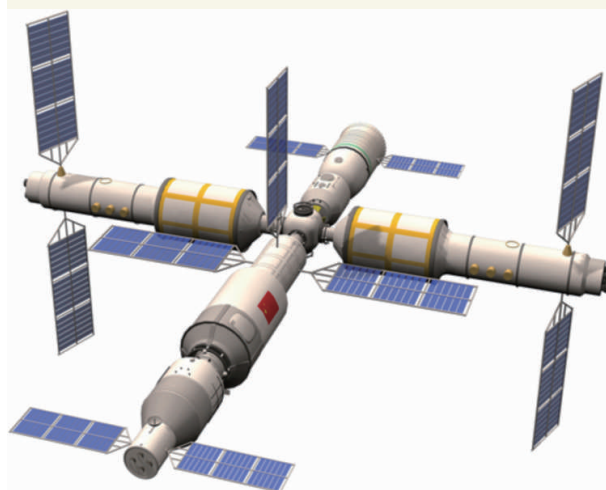


图 9 中国空间站构成示意图。空间站加压舱和舱外暴露平台的有效载荷总资源可观，可维修更换升级

跨上新台阶，进入世界先进行列；努力在若干重点领域取得有重大影响的领先科学发现和突出成就；使我国成为国际上有重大影响的空间科学大国。

致谢 本文有关内容曾得到叶淑华、欧阳自远、王育竹、张元仲、王赤、张双南、潘明祥等先生的有益建议或指正，特此致谢。

参考文献

- [1] 全国空间科学及其应用标准化委员会. 空间科学及其应用技术. 中国标准出版社, 2013
- [2] 格尔多·霍内克, 庄逢源. 宇宙生物学. 中国宇航出版社, 2010
- [3] 胡文瑞. 微重力科学概论. 科学出版社, 2010
- [4] Cacciapuoti L, Minster O, Orr A *et al.* Progress Report on Physical Sciences Research in Space in the Framework of the ESA ELIPS Programme. IMSPG#22 Meeting, Orlando, 8—9 November 2013
- [5] NASA. 2010 Science Plan For NASA's Science Mission Directorate. 2010
- [6] ESA. Cosmic Vision: Space Science for Europe 2015—2015. 2005

ILOPE—北京光电展

www.ilope-expo.com

北京国际光电产业博览会 暨
第十九届中国国际激光·光电子及光电显示产品展览会
北京·中国国际展览中心(三元桥) 2014年10月15日-17日

| | | | |
|--|--|---|--|
| <p>主办单位</p> <p>中国国际贸易促进委员会 中国国际展览中心集团公司 中国光学光电子行业协会</p> <p>承办单位</p> <p>中国光学光电子行业协会 中展集团北京华港展览有限公司</p> | <p>支持单位</p> <p>中国工业和信息化部 中国兵器工业集团公司 美国光电协会 德国光学、医疗精密设备协会</p> <p>展品范围</p> <p>激光与红外产品及设备 光电材料与元件</p> | <p>中国科技部 北京生产力促进中心 美国光学工程学会 财团法人光电科技工业协会</p> <p>光电显示及照明 光学元件与材料</p> | <p>中国科学院 北京光机产业基地 日本光产业技术振兴会 北京市市政工程总公司(集团)</p> <p>中国物理学会 中国图形图像学学会 韩国光产业振兴会</p> <p>LED & OLED & FPD 光通讯设备</p> |
|--|--|---|--|