

10年见证中国空间科学发展进入新时代

王赤, 宋婷婷, 时蓬, 范全林*

中国科学院国家空间科学中心, 北京 100190

摘要 空间科学与空间技术、空间应用构成航天活动的3大领域。回顾了党的十八大以来中国空间科学的重要进展, 突出表现为中国科学院空间科学战略性先导科技专项率先建立了中国的专用科学卫星系列, 并产出了一批有国际影响的原创科学成果, 载人航天与深空探测重大航天工程日益重视科学、技术和应用的融合; 分析了以美、欧等航天强国为代表的国际空间科学发展态势, 以及中国空间科学发展进入新时代的新历史方位, 阐述了空间科学和空间技术与应用的联系和相互促进, 指出重大科学目标引领、重大科学成果导向已成为中国空间科学任务的主要原则。面向建设科技强国、航天强国的时代需求, 建议中国在有基础有优势的极端宇宙、时空涟漪、日地全景和宜居行星等科学主题上, 加快部署系列科学卫星和相关任务, 实现“0”到“1”的突破, 让发达的空间科学成为高水平科技自立自强的重要抓手, 成为航天强国建成的重要标志。

关键词 空间科学; 科学卫星; 航天强国; 科技强国

2022年是中国全面实施《国家中长期科学和技术发展规划(2021—2035)》《“十四五”国家科技创新规划》, 加快实现高水平科技自立自强的关键之年。在举国上下以实际行动迎接党的二十大胜利召开前夕, 中国科学院空间科学战略性先导科技专项(以下简称“空间科学先导专项”)部署的中国首颗综合性太阳探测专用科学卫星——先进天基太阳观测台(ASO-S)已完成全部正样研制, 于2022年10月9日在酒泉卫星发射中心发射, 对第25个

太阳活动周峰年开展科学观测, 旨在破解国际太阳物理前沿最具挑战性的“一磁两暴”难题^[1]。

作为中国空间科学及其卫星工程项目的总体机构, 中国科学院国家空间科学中心亲历了2011年ASO-S空间科学任务概念成功申报空间科学先导专项预先研究、2014年竞争遴选得到背景型号资助, 到2016年通过了科学卫星工程立项综合论证, 转入工程研制至今的10年创新与攻关过程。这10年来, 中国科技创新综合实力从量的积累迈向质的

收稿日期: 2022-08-30; 修回日期: 2022-09-15

基金项目: 中国科学院学部重点咨询项目; 中国科学院战略性先导科技专项(A类)综合论证课题(XDA15060102)

作者简介: 王赤, 研究员, 中国科学院院士, 研究方向为空间物理和空间天文学, 电子信箱: cw@nssc.ac.cn; 范全林(通信作者), 正高级工程师, 研究方向为空间科学发展战略、政策和规划论证, 电子信箱: fan@nssc.ac.cn

引用格式: 王赤, 宋婷婷, 时蓬, 等. 10年见证中国空间科学发展进入新时代[J]. 科技导报, 2022, 40(19): 6-14; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2022.19.001

飞跃、空间科学发展进入新时代。本文对中国空间科学发展的成果和经验进行总结,深刻洞悉世界发展态势,以期加速空间科学事业发展,服务建设航天强国、科技强国的国家战略。

1 空间科学的战略意义

众所周知,“数理化天地生”等传统基础学科通常借助各类科学仪器和科技基础设施,将“论文书写在大地上”。但空间科学的突出特点是依托航天器为主要工作平台,到空间去研究关于地球、太阳系乃至整个宇宙的自然现象及其规律。

因此,空间科学任务投资大、挑战性高、实施周期长,是体现国家意志的航天活动,是使命驱动的基础研究。实际上,空间科学正是天文学、地学、物理学和生命科学等基础学科的最新前沿交叉,是实现从“0”到“1”突破的主阵地之一。

当然,发展空间科学还具有广泛且重要的“溢出”效应,可以带动乃至颠覆先进技术创新,牵引乃至触发未来产业革命、推动经济社会发展、支撑国家空间安全和国防威慑^[2]、引爆科学普及和传播热点。空间科学与空间技术、空间应用的密切联系如图1^[3]所示。



图1 空间科学与空间技术、空间应用的使命和价值不同

2 世界空间科学趋势

航天科技是科技进步和创新的重要领域,也与经济社会发展密切相关。从国际航天实践来看,有的航天国家注重政治影响,有的偏重空间应用,有

的在国防安全上发力,有的疲于太空竞赛。唯有重视基础研究的航天国家意识到发展空间科学的重要意义,实现了空间科学和技术及应用的齐头并进,进而领先其他国家,其中美欧是典型样本。

2.1 空间科学成果持续更新知识图谱

21世纪以来,世界空间科学发展迅猛。对于人类赖以生存的行星地球,空间对地观测革新了地球科学的研究方式,推动了地球系统科学的诞生与发展,并为科学应对全球变化挑战提供了重要数据源。例如,利用全球重力场测量和气候实验卫星(GRACE)及其后续任务(GRACE-FO)进行长达17年(2003—2019)的观测数据档案,发现全球陆地上的水分流失增加,揭示了全球水循环随气候变暖而加速^[4]。

太阳系探索方面,火星是行星探测的重点之一,虽然在火星表面发现生命迹象、寻找液态水的努力尚未达预期,但“洞察号”(Insight)首次揭示火星内部结构仍属里程碑进展^[5],入选《Science》2021年度十大科学突破。欧洲空间局(ESA)的罗塞塔号(Rosetta)探测器搭载菲莱(Philae)着陆器实现人类首次登陆楚留莫夫-格拉希门克彗星(67P),在彗星表面发现了多种有机化合物、彗星大气层中含有磷和甘氨酸,它们皆为生命组分。

外日球层方向,“旅行者1号”和“旅行者2号”(Voyager 1&2)分别于2012年8月、2018年11月突破日球层顶,进入(恒)星际介质空间,其中“旅行者1号”首次发现了星际等离子体波发射。抵近太阳方面,“帕克号”已于2021年4月首次越过阿尔文临界面进入太阳大气层、接触到日冕,成为第一个“接触太阳”的人类航天器^[6]。美国国家航空航天局(NASA)认为此科学壮举堪比20世纪的阿波罗任务,后者为人类提供了月球形成的绝大部分知识,预期“帕克号”将发现关乎太阳及其对太阳系影响的关键信息,而对这颗离地球最近恒星的认知也会让人类更多地了解宇宙其他遥远恒星的奥秘。

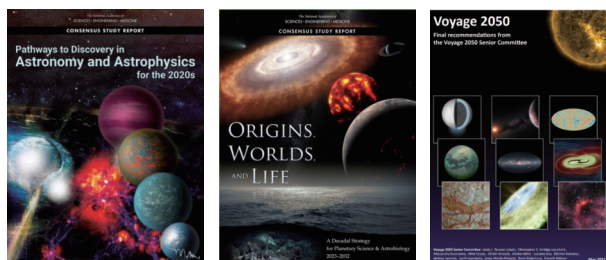
对浩瀚宇宙的观测,“盖亚”(Gaia)卫星将人类的天体测量精度提升到了前所未有的精度,助力绘制了迄今最完整、最精确的银河系三维地图,解释了“星震”“恒星DNA”“银河系考古”等谜团,发现

银河系面积大于预期,深刻改变了人类对银河系的认知。对系外行星的探索改变了人类对自身在宇宙中所处位置的认知,动摇了太阳系就是典型行星系统的看法。截至2022年8月26日,主要依靠空间科学卫星与地面望远镜协同,人类已经发现了5071颗系外行星、3799个行星系统,并有8870颗系外行星候选者待确认^[7]。它们当中有冰巨星(Nep-tune-like)、类木行星(Gas giant)、超级地球(Super Earth)、类地行星(Terrestrial),也有很多与我们熟知的太阳系行星非常不同,众多的困惑亟待科学回答。空间天文任务的哈勃空间望远镜家喻户晓,它是人类望向宇宙深处的第一道目光,向全人类展示了前所未有的宇宙图景。作为哈勃空间望远镜的继任者,也是人类有史以来最强大的空间望远镜詹姆斯·韦布(JWST)2022年7月12日发布首批全彩图像和光谱数据,标志着它正式开启捕捉“宇宙黎明之光”等的科学观测之旅。

实际上,反映全球空间科学进展的论文每年都数以万计,其中的重大突破不仅促进了学科本身的发展,更重要的是会影响人们对宇宙、生命和自然的认知,甚至是对世界观的颠覆性更新,凸显了空间科学突破的重要性^[8]。

2.2 美欧规划空间科学未来发展

发展空间科学是一项长期接续的科学研究事业。空间探索,战略先行。美欧高度重视空间科学发展战略、坚持顶层设计为要,发布了系列规划报告,引起广泛关注(图2)。



(a) Astro2020十年调查报告 (b) 2023—2032行星科学十年调查报告 (c) 远航2050规划

图2 美欧新发布了多个空间科学发展规划报告

美国科学院(NAS)应美国国家航空航天局(NASA)请求完成空间科学各学科“十年调查”

(Decadal Surveys)发展规划,不仅为NASA布局实施各型空间科学任务提供主要依据,同时也对其他国家的空间科学布局产生影响。其中,最新的2个“十年调查”报告分别是2021年11月发布的《2020年代天文学和天体物理学发现之路》和2022年4月发布的《起源、世界和生命:2023—2032年行星科学和天体生物学》^[9]。前者明确了2023—2032年天文学的3大优先领域:(1)发现和表征宜居系外行星,通过高对比度直接成像搜寻生命证据。(2)利用多信使探索早期动态宇宙的新窗口。(3)揭示星系成长的驱动因素。后者聚焦行星起源、太阳系天体(不含太阳)的结构和演化、生命和宜居性3大科学主题,并力争在探寻太阳系地外生命前沿与交叉科学方面领先取得重大突破。实际上,通过梳理近几轮“十年调查”推荐的空间天文、日球层物理、行星科学和空间地球科学高水平空间科学任务建议可知:2022—2035年,NASA将实施约62个空间科学任务(其中大型12项、中型12项、小型38项),继续全力打造美国在空间科学领域的世界领先地位和优势。

作为泛欧一体化框架下发展欧洲空间科学的主要组织机构,ESA也于2021年6月发布了第4个中长期发展规划“远航2050”^[10],不过其时间跨度是2035—2050年,以宇宙观测和太阳系探索为主题,涵盖空间天文、日球层物理、行星科学3个领域,目前已经确定了太阳系巨行星之卫星探测(L4)、湿润系外行星或银河系观测(L5)、早期宇宙新物理观测(L6)等3个大型任务(L级)的科学方向。世界航天研发的客观规律表明,任何大型空间科学任务无论科学目标凝练还是关键技术攻关都需要超过10年以上的、长期不懈的艰苦攻关。因此2021年12月ESA率先组建了L4专家委员会,要求其对探测土卫二(Enceladus)地下海洋的技术和经济可行性提出评估意见,为征集和遴选相关探测任务做准备。统计表明,包括空间地球科学在内,ESA将于2022—2050年实施的未来科学任务多达27项(其中大型6项、中型11项、小型10项)。

3 中国空间科学的10年跨越

中国航天几乎与世界航天同时起步^[11-12],但中国空间科学发展历史过短的史实往往被忽视,实际上可分为3个阶段:2000年之前的摸索阶段,2000—2016年的起步阶段,2016年以后的空间科学新时代阶段^[9]。本文的10年回顾恰涵盖了中国从现代空间科学起步到新时代的转折。

3.1 建立空间科学卫星系列并取得重要进展

2003年12月、2004年7月,中国实施了首个以科学目标牵引立项的科学卫星任务“双星计划”。但是双星计划之后出现了逾10年的“空档期”,期间中国再没有发射任何新的科学卫星。2009年《中国至2050年空间科技发展路线图》^[13]战略研究完成,其中指出空间科技在国家发展中的重要战略作用亟待发挥。在国家相关部委以及全国空间科学界、院所高校及工业部门的支持下,中国科学院组织了空间科学先导专项的咨询评议和实施方案论证。2011年1月11日,经中国科学院党组会审议并通过,空间科学先导专项首批(以下简称“专项一期”)启动,正式立项实施。

空间科学先导专项肩负着采撷航天“皇冠上的明珠”的使命,坚持“科学发现只有世界第一”,总体目标就是通过自主和国际合作科学卫星计划,实现科学上的重大创新突破,带动相关高新技术的跨越式发展,从而发挥空间科学在国家发展中的重要战略作用。其研究内容覆盖了从提出原创科学思想至产出重大科学成果的全过程,可分为预研项目和卫星工程2类。前者包括空间科学战略规划和发展政策、空间科学任务概念、空间科学任务预先研究、空间科学背景型号、空间科学任务规划和数据分析等5种研究课题;后者指空间科学卫星工程任务从方案设计、初样研制、正样研制、发射和运行,直至延寿与退役等5个阶段。

迄今,空间科学先导专项已走过了11年的历程,实施了2期,一期立足于高起点,二期实现了再发展(图3)^[14]。

专项一期在“十二五”期间开展了暗物质粒子探测卫星(“悟空”,DAMPE,2015年12月发射),实

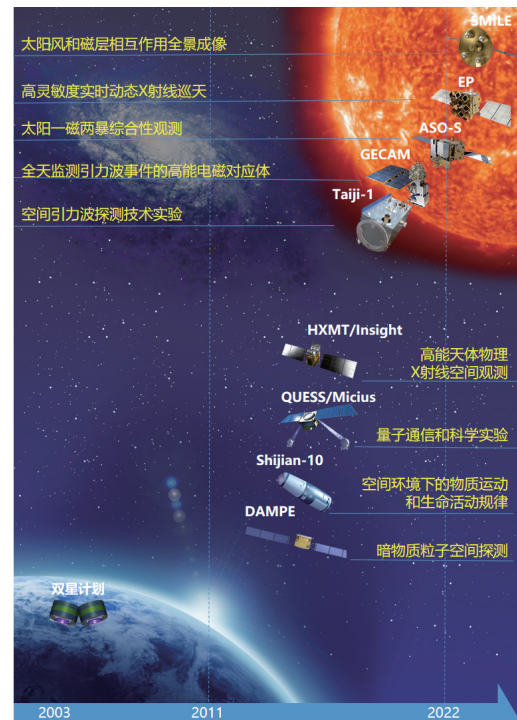


图3 空间科学先导专项率先建立中国空间科学卫星系列

践十号返回式科学实验卫星(实践十号,Shijian-10,2016年4月发射),量子科学实验卫星(“墨子”号,QUESS/Micius,2016年8月发射),以及硬X射线调制望远镜卫星(“慧眼”号,HXMT/Insight,2017年6月发射)4颗科学卫星工程任务的研制工作,正式建立起了中国第一个科学卫星系列,是继北斗、风云、海洋等应用卫星系列后的中国航天“全新面孔”。不过,专项一期部署的第5个卫星工程项目“夸父计划”(Kuafu Mission)因为国际合作伙伴退出暂缓实施。2017年11月,专项一期完成了全部研究内容,实现了预期科学目标,圆满收官。科学卫星系列实现了重大科学发现和技术创新突破,获得了一批具有国际影响力的原创成果。

2016年5月,习近平总书记在“科技三会”上发表重要讲话,他指出“空间技术深刻改变了人类对宇宙的认知,为人类社会进步提供了重要动力,同时浩瀚的空天还有许多未知的奥秘有待探索,必须推动空间科学、空间技术、空间应用全面发展。”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》。空间科学的发展被提升到了一个前

所未有的高度。为了切实落实习总书记的指示要求,以实际行动继续推动中国空间科学发展,中国科学院决定实施空间科学先导专项(二期)。

空间科学先导专项(二期)部署的科学卫星工程包括爱因斯坦探针(EP)、ASO-S、中国科学院-欧洲空间局联合“太阳风-磁层相互作用全景成像卫星——微笑计划”(SMILE)、引力波暴高能电磁对应体全天监测器卫星“怀柔一号”(GECAM)等4个新的空间科学卫星任务。专项二期还首次设置了重大背景型号,其中增强型X射线时变与偏振空间天文台(eXTP)是以中国为主牵头发起、领衔实施的一项国际大科学计划,全球20多个国家和地区的100多个单位参加,备受瞩目;中高轨量子卫星在“墨子”号的基础上将与“科技创新2030—重大项目”相衔接。围绕空间引力波探测,“太极计划”重大背景型号发射了微重力技术实验卫星“太极一号”(Taiji-1)。目前,专项二期的科学卫星研制进展顺利,已全部进入工程研制或发射运行阶段。“太极一号”于2019年8月31日发射升空,现已完成全部预设实验任务和拓展任务,预计将于2022年底前后退役。GECAM于2020年12月发射升空,已探测到数百个高能爆发事件,通过北斗导航系统首次实现了准实时下传发布触发警报,成功引导国际空间和地面望远镜进行联合观测。ASO-S已自酒泉升空。EP预计于2023年发射,SMILE预计于2025年发射。

空间科学先导专项建立的科学卫星系列为中国科学家开展使命驱动的建制化空间科学基础研究提供了前所未有的先进平台,使中国空间科学的发展第一次有了系统性的支持计划,助力中国空间科学家不再仅是旁观者、参与者的角色,而是大步走近世界空间科学舞台的中央。

3.2 载人航天与深空探测的空间科学应用

中国载人航天工程按“三步走”发展战略实施。在确保各步工程任务目标完成的同时,载人飞船阶段(1992—2006)和空间实验室阶段(2007—2017)完成了80余项科学实验。2020年5月中国载人航天工程“第三步”开启,全面迈入空间站时代。

空间实验室取得了一批科学前沿成果和关键

技术突破,例如中国-瑞士合作的伽马暴偏振探测取得国际最大样本伽马暴偏振度累积分布函数并发现偏振度的时变新现象;国际首台空间冷原子微波钟完成原子激光冷却和操控,取得迄今最高频率稳定度的实验结果;三维成像微波高度计是国际首台采用小入射角-短基线干涉-孔径合成新体制的海洋科学观测设备,开拓了海洋动力学观测新途径。

2022年底将全面建成并运营的中国空间站为开展大规模系统性有人参与的空间科学研究提供了历史性机遇。空间生命科学与人体研究、微重力物理科学、空间天文和地球科学,以及空间新技术与应用4个领域已形成了重点突出、层次明晰的10余个研究方向科学与应用任务规划,将利用人系统研究机柜等15个科学实验柜开展科学和技术试验。与此同时,与空间站同轨飞行的2 m口径巡天空间望远镜(CSST)预计2024年发射,空间站应用与发展阶段还将部署高能宇宙辐射探测设施(HERD),作为旗舰级的重大空间科学研究设施,有望使中国空间光学天文巡天、空间暗物质搜寻和宇宙高能辐射探测达到国际先进水平^[15]。

探月工程与“天问一号”任务的成功实施,为中国行星科学研究快速追赶上国际先进水平提供了重要平台。“嫦娥”三、四、五号任务的成功使中国成为新世纪唯一实现月球表面软着陆并开展科学探测和样品返回的航天国家^[16]。无人月球探测“绕落回”三步走已于2020年12月收官,标志着中国初步具备了地外天体探测的绕落回能力。

“嫦娥四号”于2019年1月实现人类首次月背软着陆,其原创科学发现令人瞩目。例如,着陆器搭载的中德联合月表中子与辐射剂量探测器(LND)实现了人类首次月表就位粒子辐射环境探测,为载人登月辐射危害的前期评估和相应的辐射防护提供了重要依据;其巡视器“玉兔二号”助力中国科学家在月球背面发现“天外来客”,首次在月表原位识别出年龄在1个百万年以内的碳质球粒陨石撞击体残留物,表明富含挥发分的碳质小行星的撞击可能仍为现在的月球提供水源。

根据“嫦娥五号”采样返回的玄武岩和月壤样品,中国科学家证明了月球直至19.6亿年前仍存在

岩浆活动,使此前根据阿波罗任务等推断的月球地质寿命延长了约10亿年;排除了“嫦娥五号”着陆区岩石初始岩浆熔融热源来自放射性生热元素克里普矿物(KREEP)的主流假说;发现月幔的水含量仅为1~5 $\mu\text{g/g}$,几乎没有水。“嫦娥五号”的这些首批科学成果已为完善月球演化历史提供了关键科学证据。

中国首次自主火星探测任务“天问一号”,一次即完成火星环绕、着陆和巡视探测,实现了从地月系到行星际的跨越,使中国成为第二个成功着陆火星的国家。其中,环绕器已完成火星全球遥感探测,“祝融号”火星车完成既定巡视探测任务后进入拓展任务实施阶段,至2022年5月进入冬季自主休眠前已累计行驶1921 m。“天问一号”首席科学家正精心组织全国研究力量对迄今逾1.1 TB的数据产品加紧开展科学研究。

目前,探月工程四期“无人月球科研站基本型”和“天问二号”的“小行星采样返回与主带彗星环绕探测”任务都已启动,也日益重视科学目标牵引和成果产出导向^[17],我们有信心为深化人类对月球成因和太阳系演化历史的科学认知作出重要贡献。

3.3 中国空间科学开始走向世界舞台中央

利用“悟空”“墨子”等系列专用科学卫星,中国科学家开展了国际一流的建制化空间科学研究,在《Science》《Nature》《Physical Review Letters》等发表了一批重要的科学发现,极大提升了中国空间科学的国际影响力。

在空间天文领域,“悟空”获得了迄今为止世界上最精确的宇宙射线电子^[18]、质子^[19]和氦核^[20]能谱精细结构。“慧眼号”2020年国际首次直接测量到宇宙最强磁场^[21];2022年7月再次刷新观测记录^[22],首次观测到黑洞双星爆发过程全景^[23],证认了快速射电暴源于磁星^[24];发现磁星SGR J1935+2154的大量爆发,创新了多卫星联合定位算法,突破了传统定位方法的定位精度^[25]。

在空间基础物理实验方向,“墨子号”国际上率先实现千公里级星地量子纠缠分发^[26]、星地量子密钥分发^[27]和地星量子隐形传态实验^[28]完成引力诱导量子纠缠退相干实验,构建了天地一体化广域量子密钥通信网络,使中国牢牢占据了空间量子科学

研究领域的主导和引领地位^[29]。

“实践十号”返回式科学实验卫星在世界上首次实现微重力条件下细胞胚胎至囊胚的发育^[30];微重力环境下的颗粒流体实验获取了颗粒分聚现象的微观结构和动力学关联,对需要混合或分离的工业过程具有借鉴意义^[31]。

中国空间科学第一次彰显了对国家科技综合实力不可或缺的里程碑贡献。在近10年来各界评选的国内和国际空间科学突破中,空间科学先导专项一期成果先后7次入选两院院士评选的中国科技十大进展新闻和科学技术部中国科学十大进展^[32]。2017年,“墨子号”成为《Nature》年度十大科学新闻“空间量子通信”的最重要贡献者。

习近平总书记在2016、2017、2018年的新年贺词中将“悟空”“墨子”和“慧眼”作为中国科技突破的代表性成果,在2022年新年贺词中提到“祝融”探火、“羲和”逐日、“天和”遨游星辰,并在党的十九大报告中将其作为创新型国家建设丰硕成果的典型代表。

3.4 10年厚植空间科学未来跨越基础

伟大的时代成就伟大的事业。空间科学先导专项担起了发展中国空间科学卫星系列的历史使命,不仅研制发射了多颗专用科学卫星、培养了一批优秀的活跃国际舞台的中青年空间科学领军人物和创新团队,而且高质量地承担了多项其他科学实验卫星任务的总体管理。

例如,完成了中国首颗全球大气二氧化碳观测科学实验卫星“碳卫星”(TANSAT)的研发与交付,解决了中国空间CO₂观测从无到有的问题,对于未来新一代温室气体监测卫星的研发、服务全球和中国双碳目标的实现都具有重要先导示范意义;完成了全球首颗可持续发展科学卫星一号(SDGSAT-1)的研发和交付,实现对“人类活动痕迹”的精细刻画;正在推进中法合作天文卫星天基多波段空间变源监视器(SVOM)的研制。

空间科学先导专项是认真落实习近平总书记重要指示,推动中国航天在新时代发展空间科学的成功实践,其创新的“首席科学家+工程两总(总指挥+总设计师)”的空间科学任务新体制,已辐射到国家相关重大航天任务的科学应用中。通过体制机制创

新,中国科学院依托学科领域齐全的建制化优势,联合院内外有关单位,通过空间科学先导专项,打造了一个具有强力科学与技术支撑的国家空间科学总体机构(NSSC)。目前,NSSC已建成为面向全国的空间科学创新平台,是开展空间科学国际合作的高地,以及国际上有重要影响的空间科学中心之一。

2016年9月,NSSC总部率先进驻怀柔科学城,为以空间科学先导专项为代表的中国重大航天工程任务实施提供了国际水准的现代化科研园区(图4)。在这里建成了能支持中国全部科学卫星的、模块化的、公共地面支撑系统,唯一的“国家空间科学数据中心”,国际先进的“空间科学任务论证支持系统(CDF)”和“空间科学卫星系列及有效载荷研制测试保障平台”,正在建设“国家卫星有效载荷产品质量检验检测中心”。NSSC已成为首都北京加快建设具有全球影响力的科技创新中心、打造世界级原始创新承载区、建设怀柔百年科学城的强劲引擎和靓丽名片。



图4 中国空间科学及其卫星工程项目总体机构(NSSC)怀柔总部园区(摄影:杨昉)

工欲善其事必先利其器。开展世界级空间科学研究所需的这些物质技术基础和人才队伍及环境,必将支撑中国向着建成世界主要空间科学中心和创新高地加速迈进。

4 展望

中华民族曾遗憾地错过了既往科技革命机遇。

进入21世纪,当全球即将迎来新一轮科技革命前夕,今日中国已经沿着中国特色社会主义道路大步赶上了时代。面向世界空间科学前沿和建设世界科技强国、航天强国的国家重大战略需求,中国空间科学界一直在努力。

未来,应围绕中国空间科学两大发展战略目标,即“宇宙和生命是如何起源和演化的”和“太阳系与人类的关系是怎样的”,并结合国内学科基础和优势,围绕极端宇宙、时空涟漪、日地全景、宜居行星等4个科学主题,勇闯前沿探索的“无人区”,尽快将承载了中国空间科学界集体智慧和共识的重点任务方向,通过科学论证和公正遴选,确保空间科学发展真正体现国家意志,形成一批新的大型(战略性)、中型、小型及机遇型系列科学卫星任务,将对重大基础前沿突破前瞻早日变成有重要国际影响的诺贝尔奖级成果^[32]。

虽然当今航天国际合作困难重重,但空间科学先导专项实施过程中坚持开展了全面、广泛、全方位、多层次的国际合作^[33]。实际上,空间科学未来规划任务从论证阶段就特别加入了国际评估的环节,邀请著名国际同行重点从科学意义重要性角度进行评估。国际评估专家普遍认为:专项一期实施以来,中国空间科学已经取得了巨大进展,产生了重要国际影响;未来规划任务征集到的有些任务独一无二且脱颖而出,有些任务与NASA、ESA的最先进项目相比也具有很强的竞争力。

得益于中国航天60余年的发展成就,中国空间科学家的梦想开始照亮深邃星空。国家自然科学基金委作为中国基础研究资助的主渠道,正在加速推进多部委“联合”的空间科学基础研究基金投入机制,彻底打通长期困扰中国空间科学发展的“最后一公里”^[34]。刚刚过去的10年,见证了中国空间科学发展进入新时代,重大科学目标引领、重大科学成果导向已成为中国空间科学任务征集、遴选和实施的主要原则。从决策部门到科学界乃至社会公众,不仅欢呼重大航天工程成就,更是急切渴望中国早日做出空间科学探索重大发现和原创突破。

万水千山,道不远人。航天强国不会一蹴而就,高水平科技自立自强不会自动实现。站在两个

一百年奋斗目标的历史交汇点上,中国空间科学发展的脚步坚强且充满定力,我们满怀信心在发现暗物质信号、直接探测到低频引力波、探索宇宙黑暗时代和黎明、系外宜居行星、太阳活动及其对地效应等科学前沿方向上率先突破,不仅拓展人类认知边界,开辟新的发展疆域,更要树起全球探索太空的新丰碑。

参考文献(References)

- [1] Gan W Q, Zhu C, Deng Y Y, et al. Advanced Space-based Solar Observatory(ASO-S): An overview[J]. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 2019, 19(11): 156.
- [2] 孙丽琳, 吴季. 空间科学对国家科技、经济与社会发展的作用[J]. *中国科学院院刊*, 2015, 30(6): 733-739.
- [3] 范全林, 宋婷婷, 时蓬, 等. 空间科学强国指标体系研究及其启示[J]. *中国科学院院刊*, 2022, 37(8): 1076-1087.
- [4] Pascolini-Campbell M, Reager J, Chandanpurkar H, et al. A 10 percent increase in global land evapotranspiration from 2003 to 2019[J]. *Nature*, 2021, 593: 543-547.
- [5] Cottaar S, Koelemeijer P. The interior of Mars revealed[J]. *Science*, 2021, 373(6553): 388-389.
- [6] Kasper J C, Klein K G, Lichko E, et al. Parker Solar Probe enters the magnetically dominated solar corona[J]. *Physical Review Letters*, 2021, 127: 255101.
- [7] Exoplanet exploration: Planets beyond our solar system [EB/OL]. [2022-09-08]. <https://exoplanets.nasa.gov>.
- [8] 时蓬, 白青江, 王琴, 等. 2021年空间科学与深空探测热点回眸[J]. *科技导报*, 2022, 40(1): 64-95.
- [9] 王赤, 白青江, 时蓬, 等. 美国行星科学2023—2032年规划及启示[J]. *科技导报*, 2022, 40(15): 6-15.
- [10] 王赤, 时蓬, 宋婷婷, 等. 远航2050: 欧洲空间科学规划及启示[J]. *科技导报*, 2022, 40(4): 6-15.
- [11] 中国航天科工集团有限公司. 永远跟党走——中国航天事业的65年. 北京: 中国宇航出版社, 2021.
- [12] History of NASA[M]. 2nd ed. Bournemouth: Future Plc, 2019.
- [13] 中国科学院空间领域战略研究组. 中国至2050年空间科技发展路线图[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [14] 吴季, 王赤, 范全林. 中国科学院空间科学战略性先导科技专项实施11年回顾与展望[J]. *中国科学院院刊*, 2022, 37(8): 1019-1030.
- [15] 顾逸东. 关于空间科学发展的一些思考[J]. *中国科学院院刊*, 2022, 37(8): 1031-1049.
- [16] 吴伟仁, 刘继忠, 唐玉华, 等. 中国探月工程[J]. *深空探测学报*, 2019, 6(5): 405-416.
- [17] 吴伟仁, 于登云, 王赤, 等. 月球极区探测的主要科学与技术问题研究[J]. *深空探测学报*, 2020, 7(3): 223-231.
- [18] DAMPE Collaboration. Direct detection of a break in the teraelectronvolt cosmic-ray spectrum of electrons and positrons[J]. *Nature*, 2017, 552: 63-66.
- [19] DAMPE Collaboration. Measurement of the cosmic ray proton spectrum from 40 GeV to 100 TeV with the DAMPE satellite[J]. *Science Advances*, 2019, 5(9): eaax3793.
- [20] Alemanno F, An Q, Azzarello P, et al. Measurement of the cosmic ray helium energy spectrum from 70 GeV to 80 TeV with the DAMPE space mission[J]. *Physical Review Letters*, 2021, 126(20): 201102.
- [21] Ge M Y, Ji L, Zhang S N, et al. Insight-HXMT firm detection of the highest-energy fundamental cyclotron resonance scattering feature in the spectrum of GRO J1008-57[J]. *The Astrophysical Journal Letters*, 2020, 899: L19.
- [22] Kong L D, Zhang S, Zhang S N. Insight-HXMT discovery of the highest-energy CRSF from the first Galactic Ultraluminous X-ray Pulsar Swift J0243.6+6124[J]. *The Astrophysical Journal Letters*, 2022, 933: L13.
- [23] Weng S S, Cai Z Y, Zhang S N, et al. Time-lag between disk and corona radiation leads to hysteresis effect observed in black-hole X-ray binary MAXI J1348-630[J]. *The Astrophysical Journal Letters*, 2021, 915(1): 15.
- [24] Li C K, Lin L, Xiong S L, et al. HXMT identification of a non-thermal X-ray burst from SGR J1935+2154 and with FRB 200428[J]. *Nature Astronomy*, 2021, 5: 378-384.
- [25] Xiao S, Xiong S L, Cai C, et al. Energetic transients joint analysis system for multi-INstrument (ETJASMIN) for GECAM-I. Positional, temporal, and spectral analyses[J]. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2022, 514(2): 2397-2406.
- [26] Yin J, Cao Y, Li Y H, et al. Satellite-based entanglement distribution over 1200 kilometers[J]. *Science*, 2017, 356(6343): 1140-1144.
- [27] Liao S K, Cai W Q, Pan J W, et al. Satellite-to-ground quantum key distribution[J]. *Nature*, 2017, 549: 43-47.
- [28] Ren J G, Xu P, Pan J W, et al. Ground-to-satellite quantum teleportation[J]. *Nature*, 2017, 549: 70-73.

- [29] “墨子号”何以激起空间量子科学热潮[N]. 光明日报, 2022-07-18(8).
- [30] Lei X H, Cao Y J, Ma B H, et al. Development of mouse preimplantation embryos in space[J]. National Science Review, 2020, 7(9): 1437-1446.
- [31] Li Z F, Zeng Z K, Xing Y, et al. Microscopic structure and dynamics study of granular segregation mechanism by cyclic shear[J]. Science Advances, 2021, 7(8): eabe8737.
- [32] 王赤. 空间科学突破的前瞻和中国的贡献[J]. 中国科学院院刊, 2022, 37(8): 1050-1065.
- [33] 王赤, 李超, 孙丽琳. 我国空间科学卫星任务国际合作管理实践与思考——以中国科学院空间科学战略性先导科技专项为例[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(8): 1032-1040.
- [34] 侯增谦, 姚玉鹏, 董国轩, 等. 打通空间科学发展“最后一公里”——国家自然科学基金资助空间科学回眸与展望[J]. 中国科学院院刊, 2022, 37(8): 1066-1075.

Witness of the new era of China space science since the past decadal

WANG Chi, SONG Tingting, SHI Peng, FAN Quanlin*

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

Abstract Space science as one of the three major fields of China's space programs plays the key role in the construction of a first-class S&T power nation. Along with a brief review on the science mission profiles of the United States and European Space Agency, this paper states that China's space science has entered into a new era and that the guidance of major scientific goals and great science excellence have become the main principles for solicitation, selection and implementation of China's science missions. Over the past decade, the strategic priority program (SPP) on space science has taken the lead in establishing China's scientific satellite series and produced a number of original scientific achievements. The China manned space program(CMSP) and China's lunar and deep space exploration program(CLDSEP) have also achieved influential scientific & engineering outcomes. Considering space scientific missions as the most important platform for basic research, this paper once again calls on the deployment of more scientific satellites in China's space program to yield world-leading scientific breakthroughs.

Keywords space science; scientific satellites; space strength; S&T power nation ●



(责任编辑 王志敏)