

关于空间科学概念的若干考证

范全林, 白青江, 时蓬*

中国科学院国家空间科学中心, 北京 100190

摘要 空间科学在不同语境中产生了各种各样的表达, 带来一些不必要的歧义。为厘清基本概念、促进事业发展, 在追根溯源、国际对照研究基础上, 考证了空间科学概念, 指出地球物理学和天文学是最早进入空间开展研究的自然科学; 空间科学在中国学科专业目录和国家学科分类标准中, 虽不是独立的门类, 但下属的学科领域均属母学科的重大前沿, 使得母学科得到前所未有的发展。辨析了空间科学与空间技术和应用、空间科学与天文学、日球层顶与太阳系边界、空间科学与深空探测、科学卫星与业务卫星、空间科学任务以及有效载荷技术等概念的内涵, 呼吁各界重视和支持空间科学, 加快发展空间科学卫星系列, 使空间科学成为开放型的研究体系和学科群, 可为相关战略规划、学科研究、项目申请和科学传播提供参考。

关键词 空间科学; 科学卫星; 学科研究; 科学普及

2019年10月8日, 瑞典皇家科学院在斯德哥尔摩宣布, 将2019年诺贝尔物理学奖授予美国普林斯顿大学教授詹姆斯·皮布尔斯(James Peebles), 以表彰他“在物理宇宙学的理论发现”, 以及瑞士日内瓦大学教授米歇尔·麦耶(Michel Mayor)和瑞士日内瓦大学兼英国剑桥大学教授迪迪埃·奎洛兹(Didier Queloz), 以表彰他们“发现了一颗围绕类太阳恒星运行的系外行星”。为此, 媒体和学者的解读纷至沓来^[1-2]。这些科学发现与公众脑海中的“空间科学”有关吗? 美国的开普勒空间望远镜(Kepler mission)不是发现了很多系外行星吗?

中国航天取得了以人造卫星、载人航天与探月工程3大里程碑为代表的辉煌成就, 国家民用空间基础设施基本建成^[3], 实现了空间技术、空间应用、空间科学领域的长足发展, 空间科学已成为了国家空间活动中相对独立的一部分。在建设航天强国的路上, 为何又有“补齐空间科学短板”一说呢? 2017年10月, 被誉为“中国天眼”的500 m口径球面射电望远镜(FAST)宣布找到2颗新的脉冲星^[4], 这能算空间科学成果吗? 更进一步, 空间科学与派生出它的天文学、地球科学、生物学等传统基础学科(母学科)之间的关系是什么呢?

收稿日期: 2020-04-20; 修回日期: 2020-06-22

基金项目: 空间科学(二期)先导专项综合论证课题项目(Y7291A1AGS)

作者简介: 范全林, 正高级工程师, 研究方向为空间科学政策、空间天气, 电子信箱: fan@nssc.ac.cn; 白青江(共同第一作者), 副研究员, 研究方向为空间科学发展战略, 电子信箱: bqj@nssc.ac.cn; 时蓬(通信作者), 副研究员, 研究方向为空间科学任务规划论证、仿真分析, 电子信箱: shipeng@nssc.ac.cn

引用格式: 范全林, 白青江, 时蓬. 关于空间科学概念的若干考证[J]. 科技导报, 2020, 38(17): 100-114; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.17.010

当今,空间科学已是科技人员、社会公众和传播媒介都热切关注的领域,在不同语境下形成了各种各样的表达,其中存在诸多歧义和混淆现象,无形中成为阻碍空间科学事业发展的不利因素。中国正在加快实施创新驱动发展战略。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^[5]。加强基础前沿科学研究,围绕宇宙演化、物质结构、生命起源等开展探索,加强对空间科学等重大科学问题的超前部署^[6]。为准确把握这些与空间科学有关的国家重要科技创新方略,结合空间科学规划论证工作,在中国学科发展战略成果^[7-8]基础上,对空间科学的概念进行了若干深化考证。

1 空间科学的定义

1.1 从空间科学的词语释义谈起

空间科学和人类探索世界的步伐紧密联系在一起。人类祖先走出非洲、经历大航海时代后,又相继步入航空时代,开展了频繁的航天活动,太阳系深空成为人类文明的“第五疆域”。“空间”“太空”“航天”“宇航”等是本文考证工作的起点。

在人类不断向高空探索的过程中,国际航空联合会(FAI)将卡门线(Kármán Line)定义为地球大气层与太空的界线,其高度为100 km^[9]。在此界线以上,空气动力学无效,天体动力学开始发挥作用。在实践中,美国联邦航空管理局(FAA)、空军、美国国家海洋和大气管理局(NOAA)和美国国家航空航天局(NASA)仍使用冯·卡门20世纪90年代初提的50英里(80 km)高度的提议,飞过这个高度,空军将颁发“宇航员之翼”勋章;而NASA任务控制部门使用76英里(122 km)高度的界线,因为在这个高度以下大气阻力变得显著^[10]。

据中国大百科全书(第二版)，“航天”指的是人造飞行器在地球稠密大气层之外的宇宙空间(简称空间,又称太空)的飞行,又称宇宙航行。在线《新华词典》中,“宇航”指的是乘航天器在大气层外飞行并进行探测工作;宇航员/进行宇航实验。根据

维基百科,“航天”(aerospace)指的是人类在地球大气中(航空, aeronautics)和太空中(宇航, astronautics)开展的科学、工程和商业领域的活动^[11]。关于宇宙空间有两个术语,即universe和cosmos。其中,较universe而言,cosmos将宇宙作为一个系统或实体,关注其状态的和谐与有序,而非混沌性^[12]。可见,中文语境中的“空间”“太空”“航天”“宇航”对应的英文单词应该是“astronautics”或“space”。值得一提的是,词根naut承载了“航海”的概念,牛津词典中“船舶的、海员的、航海的”相应单词为“nautical”,从其词根即可看出早期人类对海洋的探索,也说明从大航海到大航天一脉相承。

对于空间科学(space science)的定义,在网络版大百科全书(encyclopedia)中,指的是与空间探索相关的所有科学知识,有时被称为宇航学(astronautics),利用了传统科学包括物理、化学、生物、工程学的知识,以及自身所需的一些具体研究;并指出,其科学任务包括4类,即探空火箭、人造卫星(artificial satellite, earth orbit, a hundred and several thousand miles)、深空探测器(space probes, travel to the moon and planets)以及载人飞行^[13]。维基百科将空间科学定义为:包括与空间探索相关的、研究发生在外太空现象和天体的所有科学学科,如航天医学和天体生物学。

1.2 地球物理学和天文学是最早进入空间开展研究的自然科学

回顾世界科技发展史,19世纪是近代科学全面繁荣的科学世纪,也是空间科学诞生的前夜。1882—1883年,第1次国际极地年活动,成功完成了以气象、地磁、极光等地球物理现象为主要内容的13次北极考察,2次南极考察^[14]。1902年,法国科学家莱昂·德·波尔(Léon Teisserenc de Bort)和德国科学家理查德·阿斯曼(Richard Aßmann)通过气球实验开展地球气象学研究,分别独立发现了对流层之上的平流层。1908年,莱昂·德·波尔正式对对流层和平流层进行了命名,即troposphere和stratosphere,并自此被科学界沿用^[15-16]。随后,科学家发现并命名了中间层(mesosphere)和热层(thermosphere)^[17]。随着1901年12月12日意大利电气

工程师古列尔莫·马可尼首次接收到跨大西洋的无线电波信号,高空存在导电层日益成为研究热点,马可尼则获得了1909年度诺贝尔物理学奖。1924年12月11日,英国物理学家爱德华·阿普尔顿(Edward Appleton)用连续波法首次直接探测到距地面90 km处存在一个反射层——即现在的电离层E层,他获得了1947年的诺贝尔物理学奖。1932—1933年举行的第2次国际极地年使用了最新发展起来的无线电探空仪及光学仪器设备,开展了高空大气电离层探测^[18]。地球物理学迎来从地表大气等研究向高空大气物理的新拓展。

第二次世界大战后,美国在德国V-2导弹基础上发展了探空火箭。从1946年3月15日首枚探空火箭升空,到第1颗空间科学卫星诞生前的12年间,美国科学家利用逾60次V-2探空火箭发射机会,先后搭载了盖革计数器、朗缪尔探针、光谱仪、照相机等有效载荷,直接探测了电离层,让高空大气物理开始真正发展为空间物理。他们不仅测量了初级宇宙线,还拍摄了地球的第1张黑白照片、太阳紫外光谱,发现了来自日冕和太阳耀斑的X射线辐射,甚至还开始了箭载生物飞行试验^[19]。包括宇宙线高能天体物理学研究在内^[20]的天文学迎来了空间研究的新纪元。这是自从伽利略首次将望远镜指向天空后,人类得以突破肉眼可见光观测、克服大气层对多数电磁波段的吸收,逐渐将天文观测拓展到包括红外线、紫外线、X射线等电磁波全谱段。在国际地球物理年计划(1957年7月1日至1958年12月31日)的框架下,全球共有超过300枚搭载科学仪器的探空火箭发射升空,在地球物理研究方面取得了重大科学发现^[21]。

据NASA首任空间科学任务部主任荷马·E·纽威尔(Homer E. Newell)回忆,“空间科学”(space science)这一术语首次正式出现在1958年3月26日艾森豪威尔总统科学咨询委员会发布的报告中;几个月后,出现在了1958年6月组建的美国国家科学院空间科学委员会(SSB)的名称中^[22]。一个众所周知的史实是,人类首颗空间科学卫星“探索者一号”(Explorer 1)于1958年1月31日发射,首次发现地球周围存在高能辐射带,即范·艾伦辐射带,成为

空间科学探索时代开启的最重要标志。

此后,得益于探空火箭、人造卫星、载人飞船和空间站等航天器平台的发展成熟和频繁使用,自然科学迎来了大航天时代。除了发现地球辐射带,还证实了太阳风的存在,空间物理学从地球物理学中成熟起来,成为空间科学最早的核心学科。意大利裔美籍科学家里卡尔多·贾科尼利用探空火箭和卫星观测^[23],发现了第1个宇宙X射线源——天蝎座X-1,开创了空间X射线天文这一探测宇宙的新窗口,获得了2002年诺贝尔物理学奖。以NASA的大型空间天文台计划为代表,包括哈勃空间望远镜(HST)、康普顿伽玛射线天文台(CGRO)、钱德拉X射线天文台(CXO)和斯皮策空间望远镜(SST),空间天文学已成为新时代天文学的中坚力量,为人类揭开一个隐藏的宇宙。单以空间太阳探测为例,迄今国际上就发射了近70颗相关卫星^[24],而中国首颗太阳观测卫星“先进天基太阳天文台”(ASO-S)亦将在2021年底具备发射条件^[25]。再以后,微重力科学、空间生命科学、行星科学和空间基础物理实验等学科也进入空间科学领域。

可见,仅从语义来看,广义的空间科学包括把空间作为研究对象的科学。但对人类探索世界的历史阶段进行梳理后发现,在第二次世界大战后,严格意义上的空间科学才真正诞生。所以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^[26-27]。如果不是利用航天器平台作为主要研究手段,则把它们归属于各自的一级学科/母学科更合适,比如地基的大气层观测属于理学的大气科学,对宇宙天体的地基射电观测仍归属于天文学。

2 空间科学在中国学科专业目录中的位置

新中国成立以来,中国已多次更新学科专业目录。根据国务院学位委员会、教育部2018年4月更新的学位授予和人才培养学科目录^[28],仔细考证了空间科学的学科专业属性。

2.1 空间科学学科与一级学科的对应关系

在国家正式颁布的学位授予和人才培养学科的三级目录中,没有直接找到空间科学的位置。根据前述空间科学的定义,在目录公布的13大门类中,空间科学主要分布在理学和工学,主要涉及8个理学一级学科、8个工学一级学科,以及1个医学一级学科,逾30个二级学科,如表1所示。它们支撑起了中国空间科学界所说的空间天文学、空间太

阳物理、空间物理学、行星科学、空间地球科学、空间生命科学、微重力科学等诸领域。

以空间物理学为例,在目录中从属于理学的地球物理学一级学科,现阶段也存在独立的二级学科空间物理学,但是空间科学界认为它还涉及物理学一级学科和等离子体物理二级学科。微重力科学包括微重力流体物理、微重力燃烧、空间材料、空间生物技术与空间基础物理等,主要属于力学范畴,

表1 空间科学涉及的主要学科专业

门类	一级学科	二级学科	空间科学分领域
07 理学	0702 物理学	070201 理论物理	空间天文学 空间物理学
		070202 粒子物理与原子核物理	
		070204 等离子体物理	
	0704 天文学	070401 天体物理	空间天文学
		070402 天体测量与天体力学	空间太阳物理
	0705 地理学	070503 地图学与地理信息系统	
	0706 大气科学	070602 大气物理学与大气环境	
	0707 海洋科学	070701 物理海洋学	行星科学
		070702 海洋化学	空间地球科学
		070703 海洋生物学	
070704 海洋地质			
0708 地球物理学	070801 固体地球物理学	空间物理学	
	070802 空间物理学		
0709 地质学	070901 矿物学、岩石学、矿床学	行星科学	
	070902 地球化学	空间地球科学	
	070903 古生物学与地层学		
0710 生物学	071001 植物学	空间生命科学	
	071002 动物学		
08 工学	0801 力学	080101 一般力学与力学基础	微重力科学
	0809 电子科学与技术	080904 电磁场与微波技术	有效载荷技术
	0810 信息与通信工程	081001 通信与信息系统	公共平台技术
		081002 信号与信息处理	
	0811 控制科学与工程	081105 导航、制导与控制	
	0816 测绘科学与技术	081602 摄影测量与遥感	有效载荷技术
	0818 地质资源与地质工程	081802 地球探测与信息技术	
		082501 飞行器设计	公共平台技术
		082502 航空宇航推进理论与工程	
		082503 航空宇航制造工程	
082504 人机与环境工程			
0831 生物医学工程	/	有效载荷技术	
10 医学	1001 基础医学	100107 航空、航天与航海医学	空间生命科学

但也与流体力学、材料学等二级学科有关。在实际科研中,由于空间科学研究倚重的航天器平台公共技术和有效载荷技术的升级换代和颠覆创新,各学科研究方向越来越细化,对应关系不一而足,日益呈现出鲜明的多学科交叉特点,促进了相关学科前沿的发展,催生了诸多新的研究热点。

2.2 空间科学学科教育体系

航天是工业和信息化部国防科工局多所部属高校的传统学科专业。随着各界对空间科学的关注,据不完全统计,已有近百所国内高校新增或对原有院系更名,开设了空间科学相关的院系专业。但与传统的数理化天地生相比,空间科学本身尚未独立设置,现阶段涉及了多个学科。有一种粗放的做法是,令现有学科教育体系涵盖尽可能多的学科,然而无形中增加了各方的负担。

例如南京某著名航天院校,开设的相关空间科学课程类似于大航海时代后期的博物学,课程包括:太空探索、地球科学概论、遥感概论、测量与地图学、城市与区域科学、数据结构、结晶学与矿物学、普通地质学、X射线粉末衍射分析、近代地层学、构造地质学、脊椎动物进化史、古海洋学与全球变化、空间探测与空间环境模拟、地震学与地球内部物理学、智能交通系统概论、空间探测信息处理技术等。根据著名航天专家的提议,西安某高校空间科学与技术学院的空间科学与技术专业设置则更偏重于解决空间探测本身的技术问题,课程包括信号与系统、射频与天线、自动控制技术、电磁场与电磁波、现代通信技术、航天传感器技术、等离子物理、量子力学、天体力学与轨道设计基础、深空通信、空间探测技术、导航原理等^[29]。此外,已有北京著名高校自2018年以来开设了空间科学综合课程,《空间科学概论》教材也将于2020年秋季出版发行。

可见,同样是空间科学,相关高校所开课程大相径庭,这反映了空间科学的跨度的确非常大。实际上,空间科学教学本身不可能涵盖所有的学科体系,空间科学是在地球物理学、天文学、物理学和力学等母学科的基础上发展起来的,应根据母学科自

身特点和国际前沿趋势,按需在相应的学科体系中融入空间要素,围绕重大科学目标在航天器平台遂行必需的实验或观测。以墨子号量子科学实验卫星为例,其在空间尺度上完成的量子力学非定域性检验即为良好的示范,并引领了量子力学空间基础物理研究的新方向^[30]。

在此,我们呼吁,既不能为了追空间科学热点,把不属于空间科学的内容冠以空间科学成果,也不能把空间科学神秘化,排斥相关传统学科进入空间。此外,应遵循国家学科专业设置惯例,不宜动辄就把空间科学某个具体的研究手段或前沿方向冠以“空间**学”等,令人误以为是国家已批准设立的一级学科或二级学科的名字,空间手段的出现并不意味着对母学科的全面替代。

3 国际科学界的空间科学分类

以美国的学科专业目录为例,它早在1980年由国家教育统计中心研制开发并由教育部颁布,于2002年4月定稿(CIP-2000)。CIP-2000广泛应用于教育部和其他政府机构,共包括6大领域,其中的学术型和专业性领域(academic and occupationally-specific programs)共下设38个门类(大致对应于中国学位授予和人才培养学科目录中的13个门类),其中与空间科学相关的主要门类包括6个。但是,其一级学科、二级学科的划分与中国不尽相同^[31]。例如,中美关于天文学的一级学科大致对应,但美方天文学细分为天文学、天体物理学、行星科学、其他天文学与天体物理学研究等4个二级学科。此外,美方将海洋学作为二级学科归入一级学科地质地球科学。

下文将具体考证国外空间机构/组织对科学卫星任务和研究领域的分类,并归纳分析与中国空间科学分支领域的大致映射关系(表2)。

NASA负责对美国的空间科学计划和项目进行资助、研发和管理,并将其分为4大方向,再基本按研究对象具体细分,例如天体物理学领域的计划和任务分为宇宙物理、宇宙起源、系外行星探索、天

表2 中国空间科学与NASA、ESA和JAXA分类的大致映射关系

国内空间科学分领域	NASA	ESA	JAXA
空间天文学	天体物理学(astrophysics)	天体物理学(astrophysics)	天文观测 (astronomical observation)
空间太阳物理 空间物理学	日球层物理学(heliophysics)	太阳探测(Sun)	
行星科学	行星科学(planetary science)	太阳系探测(solarsystem)	月球和行星科学 (lunar and planetary exploration)
空间地球科学	地球科学(Earth science)	对地观测计划	对地观测计划
微重力科学	/	载人航天和探索计划	载人空间活动
空间生命科学	天体物理学(astrophysics)	基础物理	/
空间基础物理	天体物理学(astrophysics)	空间科学计划 (fundamental physics)	/

体物理探索者、天体物理研究等计划。各方向领域之间存在交叉情况,例如天体物理探索者计划中,既包含天体物理学领域的任务,还有日球层物理学领域的任务,如先进成分探测器(ACE)、中层大气高空冰的大气物理学(AIM)和恒星际边界探索者(IBEX)等^[32]。NASA微重力科学研究主要依托国际空间站和探空火箭等平台开展^[33-34]。另外,国际空间站上也开展空间生命科学实验^[35]。

欧洲空间局(ESA)的空间科学计划(scientific programme)分为4个方向^[36],即天体物理学、太阳探测、太阳系探测和基础物理,其任务通过“自下而上”(bottom-up)方式遴选产生。ESA的地球科学任务(Earth explorers)统一在对地观测计划(Observing the Earth)中进行部署^[37];ESA的微重力科学(microgravity)和空间生物学研究(biology)则在载人航天和空间探索(Human Spaceflight and Exploration)计划中进行部署^[38-40]。需要指出的是,在ESA的载人航天和空间探索计划中,虽然任务由参与成员国确定(“自上而下”),但其中的科学载荷和实验项目仍通过“自下而上”遴选产生。ESA和俄罗斯宇航局(Roscosmos)联合的ExoMars-2016/2022系列任务就是空间探索的典型案列^[41]。

日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)则将其空间科学任务归入2类:天文观测以及月球和行星科学探索。地球科学任务在JAXA对地观测计划框架下实施,微重力科学和生命科学实验在“载人空间活动”框架下开展^[42]。目前,日本尚未发射单独

的空间基础物理任务。

其中,NASA和ESA对空间生命科学有着不同的定义。NASA空间生命科学(space life sciences)的定义是:对生物体之间的相互作用以及空间环境的特征开展研究。它主要聚焦太空中生物体的结构和功能,生物体之间相互依赖的关系以及空间环境,同时也研究地外生命(extra-terrestrial intelligence)的起源、演化和可能性^[43],例如著名的搜寻地外文明计划(SETI)。NASA利用国际空间站开展了一系列生物学(biology)研究^[44],但其地外生物学(astrobiology)主要依托其他地面和空间任务开展^[45],涉及的领域也很广,如天文学、生物学、空间物理学和生物化学等。ESA也利用国际空间站开展了生物学研究^[46];并于21世纪初整合、启动了地外生命(exobiology)探索,主要利用国际空间站和科学卫星开展相关研究^[47]。

值得指出的是,航天医学(space medicine)是对外太空宇航员的医学实践/治疗(practice of medicine)^[48],生物工程(biomedical engineering/medical engineering)则是将工程原理和设计概念应用于以健康为目的的医学和生物学,例如诊断和治疗^[49]。因此,航天医学和生物工程属于空间应用的范畴。

就空间地球科学而言,美国、欧洲和日本的作法充分考虑了科学前沿与观测应用的密切联系,特别是当前人类社会发展所面临的全球变化迫切需求。例如,NASA的地球观测系统计划(EOS)同时兼具科学研究与业务化应用两种功能,而NOAA系

列业务卫星也是空间地球科学研究重要的数据源。2003年启动的全球环境与安全监测——哥白尼(Copernicus)计划由欧洲委员会(EC)/欧盟(EU)和ESA联合倡议^[50],其中EU负责Copernicus计划的全面工作,ESA开展Sentinel系列卫星专项开发、卫星建造和发射工作,使Copernicus计划成为世界上最主要的地球观测数据提供者,其所有卫星数据全部免费向全球开放。

国际空间研究委员会(COSPAR)、国际宇航科学院(IAA)、国际宇航联合会(IAF)和国际天文联合会(IAU),以及美国地球物理学会(AGU)和欧洲地球科学学会(EGU)等都是比较重要的国际空间科学学术组织。此外,还有联合国和平利用外太空委员会(COPUOS)和联合国教科文组织(UNESCO)的相关工作也与空间科学有关(表3)。

COSPAR组建于1958年,旨在通过开展国际合作,以推动对外太空的研究、探索以及和平利用。它下设8个科学委员会,各个委员会再下设分委员会^[51]。此外,COSPAR还成立包括空间环境特殊效应、辐射带环境模拟、空间天气、行星保护、空间探索、恒星际研究,以及科学气球技术等在内的10个工作组,研究制定特定空间科学主题的发展路线图。其出版物包括同行评议的两个科学期刊《Advances in Space Research》和《Life Sciences in Space Research》,以及每年出版3次的信息公告板《Space Research Today》^[52]。

IAA下设6个委员会中,包括2个科学委员会,即物理科学委员会和生命科学委员会^[53-54]。

IAF的技术委员会(2018—2021年)下设的24个委员会中,有4个为科学委员会,其中的空间探

表3 国内空间科学分领域与主要国际相关组织研究方向大致对应关系

国内分类	COSPAR	IAA	IAF	IAU
空间天文学	天体物理学研究	天文学	空间天文技术委员会	基础天文学 高能现象和基础物理 恒星和恒星物理 恒星际物质和局部宇宙 星系和宇宙学
空间太阳物理 空间物理学	太阳系空间等离子体 (包括行星磁层)	基础科学 空间物理 空间天气		太阳和日球层物理
行星科学	地月系统、太阳系行星 和小天体研究 地球和行星高层大气 (包括参考大气研究)	行星、行星际和恒星际探索 搜寻地外文明计划	空间探索委员会	行星系统和地外生命
空间地球科学	地球表面、气象学 和气候研究	地球科学		/
微重力科学	材料研究	空间材料科学	微重力科学和过程委员会	/
空间生命科学	生命科学	空间生理学和医学 人因工程 空间和行星生物学以及 生物物理学 生物技术和生命支撑 地外生物学 生命科学	空间生命科学委员会	行星系统和地外生命
空间基础物理	基础物理	基础科学	空间探索委员会	高能现象和基础物理

索委员会负责机器人/卫星任务和载人航天任务,特别是太阳系探索的研究^[55]。

IAU的科学机构下设9个分部和35个委员会,其中与空间科学相关的分部主要涉及太阳和日球层、行星系统和地外生命等7个分部^[56];与空间科学相关的委员会主要包括太阳活动、系外行星和太阳系、地外生命等逾25个委员会^[57]。

COPUOS下设两个机构:科学技术分委会和法律分委会。其中科学技术分委会对空间活动的科学和技术事项进行讨论,主题包括空间天气、近地天体、利用空间技术服务于社会经济发展或支持灾难管理、全球导航卫星系统以及外太空活动的长期可持续发展^[58]。UNESCO主要通过国际科学计划开展科学活动,相关基础科学计划的交叉领域可能涉及空间科学^[59]。

AGU^[60]成立于1919年,它虽是美国科学院下属的学术团体,但向全球科学家开放,是国际性非盈利研究机构,具有重要的国际影响力。它下设25个分会,其中空间科学领域(不含地球科学)的主要分会机构是地球和行星表面过程(Earth and Planetary Surface Processes)、行星科学(Planetary Sciences),以及空间物理与高层大气研究(Space Physics and Aeronomy)^[61]。并出版《Journal of Geophysical Research: Planets》《Journal of Geophysical Research: Space Physics》《Space Weather》《Earth and Space Science》等在本领域极具影响力的专业学术期刊。

EGU^[62]是欧洲地球科学、行星科学和空间科学研究领域的顶级学术组织,下设22个科学分会,如行星和太阳系科学、日地科学等。

综合国内外学科专业目录及任务分类,可以看出,中国的空间科学诸领域分类与自身的发展水平,以及利用国外数据开展研究的水平密切相关。一方面,从学科对比来看,中国的空间太阳物理和空间物理学,基本具有与国际相当的发展水平,与国际科学界的分类具有一定的可比性。空间生命科学则处于萌芽和成长阶段,加之分支众多,与国际分类的内涵存在较大不同。日球层物理学则反

映了国际空间科学界从太阳、日地系统到将太阳-太阳系作为一个有机整体的空间物理学发展特征,也是美欧太阳、行星际科学探测实力的体现,激励人类离开地球摇篮、不止步于太阳系,更要继续向恒星际进发^[63]。另一方面,从空间科技发展水平来看,美欧日更强调进入空间、利用航天器平台促进天文学与天体物理学、地球科学等传统学科的发展,相关分类凸显各自的优势领域,特别的日本的行星科学以小行星采样返回为突破点,无论从重大科学目标凝练还是航天技术实现都已经走在世界前列^[64]。

4 与空间科学相关的概念辨析

空间科学诸学科的派生来源、研究对象和发展历程不同,各自对航天技术的需求和推动作用亦有别,因此各界对空间科学的划分有不同描述,这是正常的;但也导致了不同维度划分交织的现象,不同背景的科研和管理人员对空间科学概念的理解存在差异,已影响对空间科学发展战略的共识,也对学科和事业发展乃至科学传播产生了不利影响。选取其中比较重要的几个概念予以考证和解读。

4.1 空间科学与空间技术、空间应用

《中国的航天》白皮书(2000年版)指出中国的航天活动包括空间技术、空间应用、空间科学3个领域,第1次提出了中国“大航天”^[65]概念。在国务院新闻办公室印发的这类文件中,航天事业被表述为国家整体发展战略的重要组成部分,与航空、船舶、核工业等相对应。文件指出,空间技术即航天技术,是包括航天运输系统、空间基础设施、载人航天、深空探测、航天发射场、航天测控等在内的综合性工程技术体系;空间应用包括对地观测卫星遥感、卫星通信广播、卫星导航定位以及航天技术成果转化应用,拓展面向行业、区域和公众服务的空间信息综合应用等;空间科学包括空间科学卫星、空间环境探测与预报、空间环境下的科学实验,以及相关有效载荷技术等^[66]。三者密切联系、相互促进。显然,在政府和航天行业管理语境下,空间科

学的概念仅为描述性表述,不涉及具体的学科,关注的是为前沿科学提供重要手段、支持基础研究取得有影响力成果、为航天器安全运行提供空间环境预报保障服务。

需要指出的是,空间科学尤需关注有效载荷技术,将研发创新纳入发展范畴一并考虑。有效载荷是在轨直接遂行航天器最终使命的仪器、设备或试件,是决定航天器性质和功能的最重要分系统之一,常常成为航天器设计和研制的“瓶颈”所在^[67]。工欲善其事,必先利其器。空间科学发现新现象、探索新规律、挑战新极限的本性,对发展先导的、尖端的、颠覆性的有效载荷技术提出了强劲需求。此外,科学卫星还逐渐形成了以有效载荷为中心的设计理念^[68],突破了根据通用卫星平台型谱“就汤下面”配置有效载荷的传统,引领了卫星设计追求高有效载荷-平台质量比的发展方向。

4.2 空间科学与天文学

基于航天器平台的空间观测已使人类能在全电磁波段开展天文学研究,空间天文学成为人类认识宇宙和自然的科技重器。但是我们丝毫不能忽视地基天文观测的重要作用。美国科学基金会(NSF)支持的丹尼尔·K·井上太阳望远镜(DKIST)拍摄到了迄今为止最高分辨率的太阳图像^[69],中国的FAST射电望远镜持续搜寻和发现射电脉冲星^[70]……都说明地基可见光和射电天文领域依然葆有鲜活的生命力。地面和空间天文观测的协同可为基础前沿科学研究带来巨大惊喜,例如Trappist-1系统就是由比利时科学家利用欧洲南方天文台(ESO)位于智利La Silla的60 cm望远镜最先发现,并由NASA的斯皮策空间望远镜等后随精细观测,天地一体化携手,发现了Trappist-1拥有7颗地球大小系外行星,并确认有3颗位于宜居带^[71]。

当前,美国的激光干涉引力波天文台(LIGO)和意大利的处女座天文台(Virgo)不断探测到引力波,打开了人类观测宇宙的新窗口^[72]。位于南极的中微子望远镜冰立方(IceCube)也探测到了自宇宙深处的高能中微子^[73]。天文学家惊呼使用电磁波、宇宙线、引力波、中微子等的多信使天文学已经到

来。包括中国在内,多个积极推进的空间引力波探测科学卫星任务将催生空间天文学的新方向。

4.3 日球层顶与太阳系边界

中国空间物理界正在积极推动太阳系边际探测任务,计划在建国100周年,让中国的航天器飞抵100 AU(天文单位,1 AU为日地平均距离 1.5×10^{11} km)的深空^[74]。太阳系边际的概念有点儿生僻,但它其实有着明确的空间物理意义,即日球层顶。

太阳不断向外吹出高速等离子体带电粒子流,被称为太阳风,它能发生作用的最大范围被称作日球层。太阳风和恒星际介质“两军对垒”之处形成的日球层顶,是保护人类地球家园及太阳系其他成员不受银河宇宙射线潜在危害的第一道“防线”。日球层并非对称的球形,在太阳运动方向的日球层最薄,约为80~150 AU,在太阳运动的反方向这一厚度估计会超过500 AU。目前,美国的“旅行者1号”和2号卫星已分别在2012年8月和2018年11月先后从121 AU和120 AU处飞越日球层顶,进入恒星际空间^[75]。这也是美国倡导空间科学界使用日球层物理学概念的内在原因。

太阳系边界更具有天文学意义。如果根据万有引力定律把太阳引力束缚天体作日心圆周运动的最远边缘定义为太阳系边界,它约位于8~10万AU处,当然也有人把距太阳约15万AU或1光年的奥尔特星云^[76]为太阳系边界,依据也是对太阳引力控制范围的估算。

显然,“日球层顶”和“太阳系边界”的科学意义不同。人类探索太阳系疆界的事业远未结束,它被空间科学的伟大梦想召唤,值得一代又一代人接续探索。中国科学家的近期目标是100 AU,远期目标是希望到21世纪末能突破1000 AU飞行技术,飞抵太阳引力透镜焦点区域(~550 AU)附近,开展引力透镜效应观测等探索工作^[77]。

4.4 空间科学与深空探测

“深空”(deep space)源于对航天器轨道高度的分类,相对于绕地球运行(near space)的航天器而言,当航天器离开近地轨道、进入太阳系/行星际和

宇宙空间,对地球以外天体(包括月球/卫星、行星、太阳、小行星和彗星等)或空间环境开展科学探测时,就引出了“深空探测”的概念。

显然,深空探测与空间科学的定义不在同一维度上,前者更隐含强调空间技术实现的挑战性。实际上,正是源于国际空间数据系统咨询委员会(CCSDS)对深空和近地航天器与地球测控站之间无线电通信特定频段划分,国际电信联盟(ITU)才在其核心管理文件《无线电规则》第1.177款中规定深空为距离地球大于或等于 2.0×10^6 km的空间,该规定在1988年10月召开的世界无线电管理大会(WARC)ORB-88会议上通过,并从1990年3月16日起生效。随后,CCSDS在建议标准书中也将距离地球 2.0×10^6 km以远的航天活动定义为B类任务,即深空任务;其他航天活动定义为A类任务。

中国航天界采用的仍是1988年以前《无线电规则》旧版本中关于深空的定义,将月球探测作为深空探测的起点^[78]。月球与深空探测工程^[79]作为国家科技重大专项,即将完成嫦娥任务的绕落回工程目标,并开启首次自主火星之旅,它牵引了重型运载火箭、深空测控、地外天体进入下降和着陆以及采样返回(EDL&A)等航天工程技术跨越式发展,也为开展月背低频射电天文观测、行星科学等空间科学研究提供了平台,缩小了中国与美欧的差距。

根据ITU的深空定义,NASA的日球层物理学和行星科学、ESA的太阳系探测、JAXA的行星科学大致属于深空任务,ESA的抵近太阳观测Solar Orbiter属于深空任务。美欧日的天体物理学和天文观测多数为地球轨道科学卫星,但也不乏采用地球拖尾环日运行的斯皮策空间望远镜、尤利西斯(Ulysses)太阳极轨等深空任务。需要指出的是,按ITU定义,日地连线L1点和L2点(距离地球 1.5×10^6 km)的多个日球层物理学任务(如SOHO卫星)、空间天文学任务(如Gaia卫星)不再属于深空任务。

4.5 科学卫星与空间站、业务卫星

空间科学以航天器为主要平台,通过空间探测

和实验获取第一手科学数据,致力于实现基础科学研究重点突破。这里所说的航天器平台主要指科学卫星,以及载人飞船和空间站。

科学卫星是人造卫星的一员,强烈的科学驱动是最鲜明的特点。这也决定了遴选空间科学任务最为有效和重要的两条遴选标准:1)科学目标的重大性(impact),即科学目标最好瞄准诺贝尔奖级别的重大成果;2)任务实施后对学科发展的带动性(involve-ment),即能带动数量众多的科学家参与任务的科学研究,并产出数量众多的高水平科学论文。对于不同类型的科学卫星,遴选时这两个标准至少要满足其一,如果同时满足,则被遴选上的机会更大。能否实现既定的科学目标是航天器工程设计的最高要求,卫星发射升空远非空间科学任务结束的标志^[80]。

现阶段,载人飞船和空间站运行于低地球轨道,能提供低重力、空间环境等条件,是开展空间科学与应用研究的重要平台^[81]。国际空间站(ISS)是目前在轨运行的最大空间平台,可开展物理学、生物学与生物技术、技术开发与验证、人体研究、地球与空间科学6个领域的基础和应用研究,为在微重力环境下开展科学实验研究提供了大量实验载荷和资源,支持人在地球轨道长期驻留,预计2024年退役。中国载人航天工程将在2022年前后全面迈入空间站时代。2019年10月,载人航天工程增设“空间科学首席专家”^[82],这一重大改革彰显了中国加速发展空间科学应用的坚定自信,标志着工程技术管理和空间科学研究进入新的阶段。瞄准未来载人月球和火星任务,NASA提出美国将于2022年开始建设月球轨道空间站(LOP-G)^[83],中国科学家也提出了远距离逆行地月空间站(DRO)的设想。

需要指出的是,现代社会正常运转还依赖一大批业务卫星。中国航天已建成了气象、海洋、资源、北斗等10余个业务卫星系列,分属卫星遥感、卫星通信广播、卫星导航定位3大系统,共同构成中国民用空间基础设施。以卫星遥感系统为例,它包括气象卫星(如风云四号)、海洋卫星(如海洋二号)、陆地卫星(如中巴地球资源卫星)3个系列,而电磁

监测卫星(如张衡一号)属于陆地观测卫星中的地球物理场探测卫星。与科学卫星不同,业务卫星立项的动机在于完成一项空间应用服务,如天气预报、灾害监测等,提供连续的数据服务、满足应用要求是航天器工程设计的要求。关于技术试验卫星(如通信技术试验卫星四号),顾名思义,是为了发展和验证新的有效载荷或平台技术的一类航天器^[84]。

科学卫星和业务卫星定位存在显著不同,不宜彼此取代。科学卫星以产出新知识为主,其发展出来的新原理、新技术可以成为业务卫星有效载荷的先导。业务卫星也可能为空间科学研究提供长期连续、定标准的数据,对于地球科学研究中的全球变化等问题具有重要意义^[85],但不应冠以科学任务的名义。“任务带学科、学科促任务”的中外空间科学学科萌芽、成长和发展实践也表明科学卫星不可替代^[86]。

简言之,空间科学属于基础科学研究,以航天器为主要手段;支持空间科学研究的专用卫星被称为科学卫星;空间科学任务指的是实现科学卫星(如悟空号暗物质粒子探测卫星)或搭载其他航天器平台的科学载荷(如天宫二号搭载的伽马暴偏振探测仪POLAR)从遴选、立项、研制、发射,到科学运行或实验、成果产出的全生命周期。

5 空间科学的未来发展

空间科学几乎涉及全部自然科学领域,是各大基础学科中的前沿方向或重要分支。这是空间科学学科发展面临的一把双刃剑。一方面,空间科学在国家学科分类中不仅未自成门类,而且连独立的一级学科也不是。学位授予和人才培养学科目录中仅有“空间物理学”一个独立的二级学科,而在国家学科分类与代码国家标准中,列出了“空间天文学”和“空间物理学”两个二级学科^[87]。这意味着在国家的学科体系中,空间科学诸学科的本质严重依赖母学科,尚未发展出相对独立的知识体系,无论科学家群体还是研究机构和教学单位,规模都较

小,由中国空间科学学会、中国宇航学会出版的《空间科学学报》《宇航学报》的学术影响力也都亟待提升。

随着中国科学卫星系列的起步,载人航天工程、月球与深空探测工程等空间领域的重大专项日益强调原创科学突破和工程任务成功并重,空间科学学科迎来了开展重大原创研究和前沿交叉突破的契机。空间科学的学科发展空间令人期待。

例如,由太阳物理和空间物理基础研究与人类航天活动应用需求相结合而产生的新兴学科——空间天气学,国内外的研究都呈蓬勃发展之势。AGU为此新创办的期刊《Space Weather: The International Journal of Research and Applications》(《SWE》),影响力较高^[88]。中国空间物理学界有识之士也积极推动空间天气学的发展。2006年7月,科学技术部批准新建空间天气学国家重点实验室;2006年,中国地球物理学会成立了空间天气专业委员会;2007年11月,中国气象学会成立了空间天气学委员会。2019年4月,国家自然科学基金委和中国科学院联合开展的研究成果《中国学科发展战略×空间科学》,将日地空间环境与空间天气列为未来10~15年本学科领域的优先发展方向。

此外,作为中国空间科学学会下属的二级学会,空间地球科学专委会于2018年5月经中国科协批准注册成立,并于当年11月召开首届学术研讨会,推动从空间视角认知地球系统在不同时空尺度上的发展演化规律。随着中国月球和深空探测专项的实施,行星科学学科建设也在提速。2019年7月,国内27所高校强强联手成立“中国高校行星科学联盟”^[89],共建中国行星科学人才培养体系,打造国际化期刊《Earth and Planetary Physics》^[90],服务和引领未来深空探测计划^[91]。

空间科学集中反映了相关母学科中的新生长点和不同学科前沿的交叉集成,空间科学任务更是具有科学驱动、载荷技术与航天工程高度结合的特点,成为当今实现“从0到1”基础研究突破的最主要平台之一。人类进入太空时代以来,空间科学相关领域已诞生13项诺贝尔奖^[92],美国获得了这些

奖项的近 3/4, 奠定了第一航天强国的位置。中国已是具有重要影响力的航天大国。“悟空”“墨子号”等连续出现在习近平总书记新年贺词和党的十九大报告中, 被赞誉为中国科学家开展世界级科学研究的重要物质技术基础。

科学发现只有第一, 没有第二。考证空间科学概念, 就是想通过点滴努力, 呼吁各界重视空间科学学科建设, 通过学科建设, 培养一批高质量、复合型空间科学专业人才, 不断形成新的理论体系和专门的实验方法, 使之成为开放型的体系和学科群, 进一步拓展航天器平台带给传统天文学、物理学、地球科学的变革和突破。一方面, 积极落实《国务院关于全面加强基础科学研究的若干意见》, 通过重点研发计划等渠道加强对空间科学新窗口、新领域、新热点等前沿研究, 以及有效载荷科学探测新原理、新技术、高时空分辨率, 高灵敏度、轻小型化等技术攻关的超前部署。另一方面, 准确把握空间科学的内涵和外延, 科学制定相关的战略规划和路线图, 加快发展科学卫星系列, 助力科学家在中国有基础、有优势的极端宇宙、时空涟漪、日地全景和宜居行星等当代最具挑战性的重大科学问题上取得原始创新突破, 使之成为建成科技强国的重要标志^[93]。

参考文献 (References)

- [1] 2019 年诺贝尔物理学奖揭晓[EB/OL]. [2020-03-20]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2019/10/431256.shtm>.
- [2] 胡永云. 寻找太阳系外行星——2019 年诺贝尔物理学奖成果简析[J]. 科技导报, 2019, 37(24): 23-29.
- [3] 中国国家发改委, 财政部, 国防科工局. 国家民用空间基础设施中长期发展规划(2015—2025 年)[EB/OL]. [2020-03-30]. <https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/201510/W020190905497791202653.pdf>.
- [4] 赵竹青. “中国天眼”FAST 首次新发现脉冲星进展超预期[EB/OL]. [2020-03-30]. <http://scitech.people.com.cn/n1/2017/1010/c1007-29578568.html>.
- [5] 习近平: 我们比历史上任何时期都更需要建设世界科技强国[EB/OL]. [2020-03-30]. http://news.youth.cn/sz/201806/t20180606_11637753.htm.
- [6] 国务院. 国务院关于全面加强基础科学研究的若干意见[EB/OL]. [2020-03-30]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-01/31/content_5262539.htm.
- [7] 国家自然科学基金委员会, 中国科学院. 未来 10 年中国学科发展战略: 空间科学[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [8] 国家自然科学基金委员会, 中国科学院. 中国学科发展战略: 空间科学[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- [9] Kármán line[EB/OL]. [2020-03-27]. https://simple.wikipedia.org/wiki/Kármán_line.
- [10] Where, exactly, is the edge of space? It depends on who you ask[EB/OL]. [2020-03-27]. <https://www.nationalgeographic.com/science/2018/12/where-is-the-edge-of-space-and-what-is-the-karman-line/>.
- [11] Aerospace[EB/OL]. [2020-02-05]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Aerospace>.
- [12] Cosmos[EB/OL]. [2020-02-05]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmos>.
- [13] Space science[EB/OL]. [2020-03-30]. <https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/space+science>.
- [14] International polar year[EB/OL]. [2020-03-30]. <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/international-polar-year>.
- [15] Léon Teisserenc de Bort[EB/OL]. [2020-03-24]. https://en.wikipedia.org/wiki/Léon_Teisserenc_de_Bort.
- [16] Teisserenc De Bort, Léon Philippe[EB/OL]. [2020-03-24]. <https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/teisserenc-de-bort-leon-philippe>.
- [17] Who discovered thermosphere?[EB/OL]. [2020-03-24]. <http://www.whoinventedfirst.com/who-discovered-thermosphere/>.
- [18] Barr S, Lueddecke C. The History of the International Polar Years (IPYs)[M]. Berlin: Heidelberg: Springer, 2010.
- [19] V-2[EB/OL]. [2020-03-30]. <http://www.friends-partners.org/partners/mwade/lvs/v2.htm>.
- [20] Bonolis L. From cosmic ray physics to cosmic ray astronomy: Bruno Rossi and the opening of new windows on the universe[J]. *Astroparticle Physics*, 2014, 53(1): 67-85.
- [21] Section v sounding rockets[EB/OL]. [2020-03-16]. <https://history.nasa.gov/SP-4402/ch5.htm>.
- [22] Dickson P. A Dictionary of the Space Age[M]. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2009.
- [23] 张双南. 空间时代的天文学研究——从空间天文观测到诺贝尔物理学奖[J]. 中国科学院院刊, 2014, 29(5): 590-602.
- [24] 甘为群, 黄宇, 颜毅华. 太阳空间探测的过去与未来

- [J]. 中国科学: 物理学力学天文学, 2012, 42(12): 1274-1281.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 学位授予和人才培养学科目录(2018年4月更新)[EB/OL]. [2020-02-25]. http://www.moe.gov.cn/s78/A22/xwb_left/moe_833/201804/t20180419_333655.html.
- [29] 刘雨菲, 贺鹏梓, 李刚. 我们对宇宙的认识尚在萌芽期, 实验室的建设极为必要[J]. *卫星与网络*, 2017, 11: 26-28.
- [30] Yin J, Cao Y, Li YH, et al. Satellite-based entanglement distribution over 1200kilometers[J]. *Science*, 2017 (356): 1140-1144.
- [31] U.S. Department of Education, Office of Educational Research and Improvement. *Classification of Instructional Programs: 2000 Edition*[R]. Washington, DC: U.S. Department of Education, Office of Educational Research and Improvement, 2002.
- [32] 范全林, 白青江. 美国空间科学的发展及其启示[J]. *科技导报*, 2019, 37(21): 73-87.
- [33] Microgravity science on the ISS[EB/OL]. [2020-03-31]. https://www.nasa.gov/pdf/501343main_Microgravity_Science.pdf.
- [34] NASA sounding rocket program overview[EB/OL]. [2020-03-31]. <https://rscience.gsfc.nasa.gov/srrov.html>.
- [35] Space life sciences[EB/OL]. [2020-03-31]. <https://www.nasa.gov/audience/foreducators/spacelife/home/index.html>.
- [36] Mission navigator[EB/OL]. [2020-03-31]. http://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Mission_navigator.
- [37] Applications[EB/OL]. [2020-02-25]. <http://www.esa.int/Applications>.
- [38] Funding[EB/OL]. [2020-02-25]. http://www.esa.int/About_Us/Corporate_news/Funding.
- [39] European Space Agency[EB/OL]. [2020-02-25]. https://en.wikipedia.org/wiki/European_Space_Agency#Programmes.
- [40] Biology[EB/OL]. [2020-02-25]. https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/As-trolab/Biology.
- [41] ExoMars[EB/OL]. [2020-03-25]. http://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/ExoMars.
- [42] About our projects[EB/OL]. [2020-02-25]. <https://global.jaxa.jp/projects/index.html>.
- [43] About space life sciences[EB/OL]. [2020-03-16]. <https://www.nasa.gov/audience/foreducators/spacelife/about/index.html#.XmiTDfZuI7M>.
- [44] Biological sciences on the International Space Station[EB/OL]. [2020-03-16]. https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/biological_sciences_infographic.
- [45] Astrobiology in missions[EB/OL]. [2020-03-25]. <https://astrobiology.nasa.gov/missions>.
- [46] Shape the future of European biology research in space[EB/OL]. [2020-02-24]. https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Research/Shape_the_future_of_European_biology_research_in_space.
- [47] Europe launches into astrobiology[EB/OL]. [2020-03-25]. <https://sci.esa.int/web/home/-/27228-europe-launches-into-astrobiology>.
- [48] Space medicine[EB/OL]. [2020-03-17]. https://en.wikipedia.org/wiki/Space_medicine.
- [49] Biomedical engineering[EB/OL]. [2020-03-17]. https://en.wikipedia.org/wiki/Biomedical_engineering.
- [50] Copernicus[EB/OL]. [2020-03-31]. <https://www.copernicus.eu/en>.
- [51] Scientific commissions[EB/OL]. [2020-03-26]. <https://cosparhq.cnes.fr/scientific-structure/scientific-commissions>.
- [52] About[EB/OL]. [2020-03-26]. <https://cosparhq.cnes.fr/about/>.
- [53] Commission 1-Space Physical Sciences[EB/OL]. [2020-03-26]. <https://iaaweb.org/content/view/9/53>.
- [54] IAA Commission 2-Space Life Sciences[EB/OL]. [2020-03-26]. <https://iaaweb.org/content/view/11/55>.
- [55] IAF administrative and technical committees[EB/OL]. [2020-03-26]. <http://www.iafastro.org/about/governance/iaf-administrative-and-technical-committees>.
- [56] Divisions[EB/OL]. [2020-04-10]. https://www.iau.org/science/scientific_bodies/divisions.
- [57] Commissions[EB/OL]. [2020-04-10]. https://www.iau.org/science/scientific_bodies/commissions.
- [58] Committee on the Peaceful Uses of Outer Space and its Subcommittees[EB/OL]. [2020-04-10]. <http://www.unoob>

- sa.org/oosa/en/ourwork/copuos/comm-subcomms.html.
- [59] International science programmes[EB/OL]. [2020-04-10]. <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/about-us/how-we-work/international-science-programmes>.
- [60] American Geophysical Union[EB/OL]. [2020-02-25]. <https://www.agu.org>.
- [61] AGU sections[EB/OL]. [2020-02-25]. <https://www.agu.org/Learn-About-AGU/About-AGU/Governance/Sections>.
- [62] European Geosciences Union[EB/OL]. [2020-03-17]. <https://www.egu.eu/>.
- [63] Calla C. NASA's Voyager 2 Probe enters interstellar space[EB/OL]. (2018-12-10) [2019-01-02]. <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=7301>.
- [64] The "Goodbye Ryugu" campaign[EB/OL]. [2020-03-31]. http://www.hayabusa2.jaxa.jp/en/topics/20191113e_SAY-ONARA_Ryugu.
- [65] 郭宝柱. 中国航天发展的里程碑——《中国的航天》白皮书[J]. 中国工程科学, 2007, 8(10): 1-102.
- [66] 航天白皮书[EB/OL]. [2020-03-31]. <http://www.cnsa.gov.cn/n6758824/n6758845/index.html>.
- [67] 李怡勇, 邵琼玲, 李小将. 航天器有效载荷[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013.
- [68] Chang J, Ambrosi G, An Q, et al. The DArk Matter Particle Explorer Mission[J]. *Astroparticle Physics*, 2017, 95: 6-24.
- [69] The Daniel K. Inouye solar telescope: Getting a close-up look at our sun[EB/OL]. [2020-03-31]. <https://www.space.com/daniel-k-inouye-solar-telescope.html>.
- [70] 丁佳. FAST首次发现并认证毫秒脉冲星[EB/OL]. [2020-03-31]. <http://news.sciencenet.cn/sbhtmlnews/2018/5/334816.shtm>.
- [71] Gillon M, Triaud A H M J, Demory B O, et al. Seven temperate terrestrial planets around the nearby ultracool dwarf star TRAPPIST-1[J]. *Nature*, 2017(542): 456-460.
- [72] Abbott B P, Abbott R, Abbott T D, et al. Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger[J]. *Physical Review Letters*, 2016, 116(6): 061102.
- [73] IceCube collaboration. Neutrino emission from the direction of the blazar TXS 0506+056 prior to the IceCube-170922A alert[J]. *Science*, 2018, 361(6398): 147-151.
- [74] 专家提出我国2049年实现太阳系边际探测[EB/OL]. [2020-03-31]. <http://paper.sciencenet.cn/htmlnews/2018/10/419303.shtm>.
- [75] NASA's Voyager 2 Probe Enters Interstellar Space[EB/OL]. [2020-03-31]. <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=7301>.
- [76] Williams M. What is the Oort Cloud?[EB/OL]. [2020-04-01]. <https://www.universetoday.com/32522/oort-cloud/>.
- [77] 吴伟仁, 于登云, 黄江川. 太阳系边际探测研究[J]. 中国科学: 信息科学, 2019, 49(1): 1-16.
- [78] 周傲松, 祁圣君. 《无线电规则》中关于深空研究的相关规定[J]. 国际太空, 2003, 12: 24-25.
- [79] 国防科工局国家航天局关于印发《月球与深空探测工程科学数据管理办法》的通知[EB/OL]. [2018-03-30]. <http://clep.org.cn/n4235/c6807016/content.html>.
- [80] Wu J, Alvaro G. On the Maximization of the Science Output of Space Missions[J]. *Space Science Review*, 2020, 216(1): 1-13.
- [81] 高铭, 赵广恒, 顾逸东. 我国空间站的空间科学与应用任务[J]. 中国科学院院刊, 2015, 30(6): 721-732.
- [82] 我国载人航天工程重大改革: 增设“空间科学首席专家”[EB/OL]. [2020-04-01]. <http://www.cnsa.gov.cn/n6758823/n6758838/c6807898/content.html>.
- [83] 宋婷婷, 范全林, 王琴. 美国公布重返月球的“阿特弥斯计划”科学目标[J]. 空间科学学报, 2019, 39(6): 717.
- [84] 我国成功发射通信技术试验卫星四号[EB/OL]. [2020-04-01]. http://www.xinhuanet.com/science/2019-10/18/c_138481381.htm.
- [85] Earth[EB/OL]. [2020-04-01]. <https://science.nasa.gov/earth-science>.
- [86] 史现明. 赵九章科学研究的系统性思想刍议[J]. 系统科学学报, 2014, 22(3): 20-23.
- [87] 中国标准化研究院, 中国科学与计划财务部. 中华人民共和国学科分类与代码国家标准(GB/T 13745-2009)[S]. 北京: 国家技术监督局, 2009.
- [88] Space Weather[EB/OL]. [2020-04-01]. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/journal/15427390>.
- [89] 中国高校行星科学联盟成立 27所高校签约[EB/OL]. [2020-04-01]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2019/7/428111.shtm>.
- [90] Earth and planetary physics[EB/OL]. [2020-04-01]. <http://www.eppegs.org>.
- [91] 白春礼. 序言: 行星科学引领深空探测[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(7): 739-740.
- [92] 范全林, 白青江, 王海名, 等. 从诺贝尔奖看空间科学对科技强国的贡献[J]. 科技导报, 2018, 36(15): 8-12.
- [93] 王赤. 50年, 科技人谱写“东方红一号”新篇章[N]. 光明日报, 2020-04-23(16).

Textual research on the concepts about space science

FAN Quanlin, BAI Qingjiang, SHI Peng*

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

Abstract Since space science is an area that draws attention from scientists, engineers, the public and the media, various expressions emerged in different contexts may bring along unnecessary ambiguities. To make the basic concepts clear, the paper conducts a textual research on the concepts about space science based on a thorough probe of the origin and comparison of space science practices worldwide. For the origin of space science, geophysics and astronomy are the first natural science disciplines to conduct space-borne research, and although space science has not been established as an independent category in China, all its disciplines are at the frontlines of their own parental disciplines, growing strong and bringing even great funding back into their parents. Besides, the paper tries to discriminate the differences between space science and space technology & applications, space science vs. fundamental astronomy, heliospheric pause vs. the boundary of sun's gravity, space science vs. deep space, and science mission vs. operational satellites. As to the future of space science endeavor in China, it proposes that more attention should be paid to space science so as to advance science satellites program and make space science as an open research system and clusters of disciplines. It is expected that the present work is beneficial to related discipline research, project application and public outreach.

Keywords space science; science satellites; discipline research; public outreach ●



(责任编辑 王丽娜)