

远航 2050: 欧洲空间科学规划及启示

王赤, 时蓬, 宋婷婷, 魏海燕, 王琴, 范全林*

中国科学院国家空间科学中心空间科学与深空探测规划论证中心, 北京 100190

摘要 欧洲空间局(ESA)于2021年6月发布了最新版的空间科学中长期发展规划“远航2050”(Voyage 2050),引起各界关注。对该规划进行了全面深入地科学解读,指出它瞄准2035—2050年发展周期,聚焦重大科学前沿,前瞻未来技术创新,确定了探索太阳系巨行星的卫星、系外行星或银河系以及早期宇宙新物理等3个大型空间科学任务方向,梳理了14个中小型空间科学任务候选方向,提出了为实施这些任务或取得更长远的突破性科学回报而必须超前研发的有效载荷和关键共性空间技术领域,强调了面向未来培养下一代空间科学人才的重要性。

关键词 远航2050;空间科学;科学卫星;宇宙观测;太阳系探索;空间地球科学;航天强国

2021年6月,欧洲空间局(ESA)公开发布了面向2035—2050年的新版空间科学中长期规划“远航2050”(Voyage 2050)白皮书,引起全球关注^[1]。尤其是“远航2050”明确了欧洲未来3个大型科学任务的方向,在新媒体传播时代,该事件也引发包括中国公众在内的社会各界强烈关注。但是“远航2050”作为一份空间科学中长期科学规划,其科学内容远非新闻报道能够涵盖和准确传播,非常有必要进行全面解读。中欧在空间科学领域有着长期卓有成效的实质性合作,本文聚焦远航2050规划,对其进行深度剖析,并提出对中国空间科学发展的启示。

1 “远航2050”规划编制回顾

由于现行的“宇宙憧憬”(Cosmic Vision)规划已经明确了ESA自2015至2025年的空间科学任务,为着眼长远,ESA于2018年12月启动了“远航2050”规划工作,并耗时2年6个月完成。期间有2个事项值得注意。

1) ESA组建了两级专家委员会。“远航2050”规划高级专家委员会(senior committee,以下简称高级专家委)、领域专题工作组(topical teams,以下简称专题工作组)。

2018年12月,ESA科学部主任首先任命了高

收稿日期:2021-10-19;修回日期:2021-11-26

基金项目:中国科学院空间科学(二期)先导专项(Y7291A1AGS);中国工程院“航天强国发展若干重大问题研究(二期):空间科学”项目(EIJ01A0201)

作者简介:王赤,中国科学院院士,研究员,研究方向为空间物理和空间天气学,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,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; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2022.04.001

级专家委主席 Linda Tacconi 和共同主席 Christopher Arridge。之后通过遴选确定了其他 11 名成员,遴选过程充分考虑了组员在学科覆盖上的综合性和专业性、性别和地域/国别多样性。2019 年 2 月,在位于荷兰的欧洲空间研究与技术中心(ESTEC)召开的第 1 次高级专委会决定,高级专委会成员不得领导或参与任何白皮书所建议的任务;专题工作组成员可以参与白皮书任务,但不能担任负责人,并应在讨论他们参与撰写的白皮书时回避。

2019 年 3 月 4 日,ESA 发布专题工作组征集通知,欢迎尽可能多的科学家参与规划工作。至 2019 年 5 月 6 日候选人申请截止日,来自 18 个 ESA 成员国的 218 名科学家提交了申请。2019 年夏,经高级专委会评估和建议并由 ESA 科学部主任任命,成立了由 50 名专家组成的专题工作组,涵盖 5 个空间科学专题:(1) 太阳和空间等离子体物理;(2)

行星科学;(3) 星系、恒星和行星的形成和演化,天体化学与星际介质(ISM);(4) 极端宇宙,包括引力波、黑洞和致密天体;(5) 宇宙学、天体粒子物理学和基础物理学。专题工作组的主要职责是召集研讨会等,对规划征集到的科学任务概念白皮书进行初步评估,并向高级专委会提交白皮书的最终评估报告。一些有意思的事实是,工作组成员中来自 ESA 较大成员国的专家比例下降;女性专家比例大于申请比例;处于职业中期的专家比例下降,处于职业初期的专家增加。

2) 规划编制坚持了自下而上、同行评审原则。ESA 在 2019 年 3 月 4 日同步发布了“远航 2050”规划空间科学任务概念白皮书征集通知,至 2019 年 8 月 5 日征集截止,共收到近百份白皮书^[2],其中包括空间经济基础设施规划和教育与公众参与计划 2 个非空间科学任务建议(图 1)。

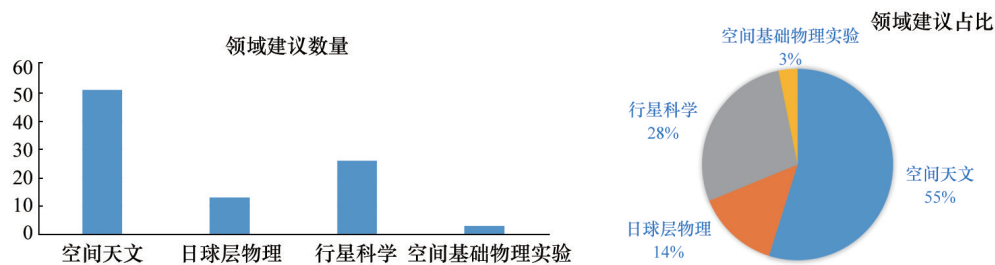


图 1 “远航 2050”规划中的科学任务概念所属领域分布

2019 年 10 月,专题工作组在西班牙马德里召开研讨会,对该白皮书进行了初步评估。2020 年 1 月,ESA 在 ESTEC 召开了高级专委会和专题工作组都参加的研讨会;2020 年 2 月,专题工作组向高级专委会提交了 95 个项目白皮书的最终评估报告。由于受到新冠疫情影响,高级专委会主要通过定期视频会议开展工作。

2021 年 3 月,高级专委会完成了“远航 2050”规划初稿。2021 年 5 月中旬,规划建议提交至 ESA 科学部主任;2021 年 6 月,通过了 ESA 科学计划委员会(the Science Programme Committee, SPC)会议审议;2021 年 6 月 11 日,ESA 正式向外界发布了“远航 2050”规划(图 2)。

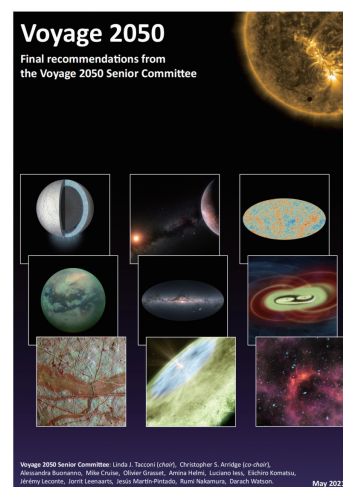


图 2 “远航 2050”白皮书封面(图片来源:ESA)

2 远航2050规划内容及实施

经过欧洲科学界、专题工作组和高级专委会2年多卓有成效的工作,“远航2050”规划瞄准2035—2050年发展周期,确定了探索太阳系巨行星的卫星、湿润系外行星或银河系,以及早期宇宙新物理等3个大型空间科学任务的方向,梳理了供中小型空间科学任务未来遴选的14个候选方向,提出了为实施这些任务或取得更长远的突破性科学回报而必须超前研发的有效载荷和关键共性技术领域,强调了面向未来必须培养下一代空间科学人才,其内容详实,值得仔细参阅。应该说,远航2050规划不拘泥于现有技术经济约束,突出重大科学目标牵引,体现了欧洲科学家未来几十年抢占世界空间科学前沿的梦想。ESA官方宣布:“远航2050”已经启航。

2.1 规划内容解读

远航2050规划之所以引起社会关注,源于其公布了ESA在2035—2050年将实施的3个大型空间科学任务的科学目标。这些大型科学任务(L级)须由ESA主导,预算约为10亿~12亿欧元,任务

周期大约7~8年(实际常常超过10年),并有望产生重要科学突破。

实际上,规划还初步明确了中小型任务候选范围,为将来遴选出6~7项中型(M级)任务和若干小型(S级)任务提供了项目储备。其中M级任务预算约为5.5亿~6亿欧元,任务周期约为4~5年;S级任务预算则为0.5亿~1.5亿欧元,通常在4年内完成工程研制(ESA语境下的工程立项,相当于中国的初样和正样研制)和发射。

需要指出的是,ESA将90%以上的空间科学计划预算投入到大型和中型(L级和M级)科学任务。

此外,ESA还以M级、S级任务预算参与了多项国际合作任务,内容包括提供有效载荷、地面测控站网服务或支持科学任务运行等。其中,以S级任务下限(0.5亿欧元)参与的国际合作项目,也被称为机遇型(MO)任务。

表1梳理了远航2050规划的空间科学任务方向,需作如下说明。

1) 规划选定3个L级科学任务的方向(图3),反映了欧洲空间科学界对地外生命探寻、早期宇宙及银河系演化等重大前沿的高度关注。

表1 ESA“远航2050”规划科学任务一览

任务类型	科学方向	ESA主题分类	所属领域	
大型任务 (L级,3个)	L4:太阳系巨行星之卫星探测	太阳系探索	行星科学	
	L5:早期宇宙的新物理观测	宇宙观测	空间天文	
	L6:湿润的系外行星或银河系观测			
候选中 型任务 (M级, 拟遴选 6~7个)	(1) 行星磁层系统探测	太阳系探索	日球层物理	
	(2) 等离子体跨尺度耦合探测			
	(3) 太阳磁场观测			
	(4) 太阳高能粒子加速的机理			
	(5) 太阳极区观测			
	(6) 金星的地质地球物理探测			行星科学
	ESA 主导	(7) 近红外高精度天体测量	宇宙观测	空间天文
		(8) 高精度星震探测		
		(9) 多相星际介质在恒星形成和星系演化中作用的探测		
		(10) 极端宇宙高能探测:致密天体的吸积和天体粒子物理学		
		(11) 黑洞物理学的天地联合射电干涉测量		
		(12) 绘制包含暗物质、缺失重子、原子和分子线的宇宙结构图任务		
		(13) 借助紫外和X射线的吸收线的近域宇宙大尺度星系际介质探测		
		(14) 量子力学和广义相对论空间实验		
		(15) 冰态巨行星/类海行星探测		

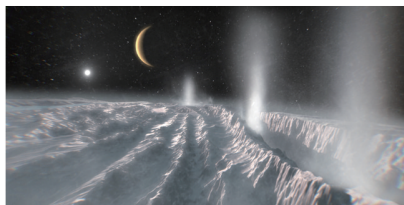
表1 ESA“远航2050”规划科学任务一览(续)

任务类型	科学方向	ESA 主题分类	所属领域
候选中型任务 (M级, 拟遴选6~7个)	(16) NASA 下一代四大空间天文台任务(指大型紫外/可见光/红外巡天望远镜 LUVVOIR、起源空间望远镜 OST、宜居系外行星空间天文台 HabEx, 以及下一代 X 射线空间天文台“山猫” Lynx)	宇宙观测	空间天文
国际合作	(17) NASA 恒星际探测任务	太阳系探索	日球层物理 行星科学
	(18) 太阳系起源探测任务		
小型任务 (S级)	含机遇型任务 (F), “远航 2050” 规划暂未明确, 后续拟遴选若干		

其中, L4 着眼于太阳系内的地外生命探寻, 目标直指木星、土星这些巨行星的卫星——哈勃空间望远镜、卡西尼-惠更斯任务等已揭示出木卫二 (Europa)、土卫二 (Enceladus) 和土卫六 (Titan) 等卫星有地下海洋乃至生命必需的所有成分, 让天体生物学家燃起了在太阳系除地球之外的其他星球发现生命的希望, 甚至可能冲击传统的生命宜居带概念。L4 也是对“宇宙憧憬”规划的 L1 任务——将于 2022 年发射的外太阳系探索任务“果汁”号木星冰卫星探测计划 (JUICE) 的强化和升级。

L5 则明确致力于探索早期宇宙 (如红移值 $z > 8$) 的新物理学, 通过宇宙微波背景辐射或空间探测引力波来研究宇宙的初始结构及其起源。L5 或可作为普朗克卫星 (Planck) 精确测量宇宙微波背景的延伸, 或作为“宇宙憧憬”规划的 L3 任务, 即将于 2030 年后发射的“丽莎”号引力波探测激光干涉空间天线星座 (LISA) 的后续。

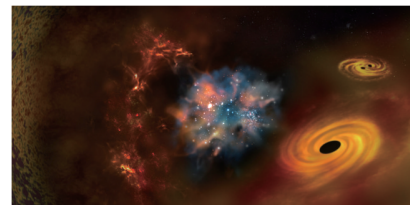
L6 反映了 ESA 对系外行星这一空间科学前沿热点的更长远布局。这其中的关键是“湿润”而没用“宜居”, 既说明它指的是系外行星表面对生命有益的温度 (注: 行星是否位于宜居带和行星是否宜居是两个概念), 也强调科学任务重在湿润系外行星的表征而不是媒体关注的发现系外生命。ESA 在“宇宙憧憬”规划中已经部署了 S 级的“基奥普斯”号系外行星表征卫星 (CHEOPS, 2019 年发射)、M 级的“柏拉图”系外行星凌星和恒星振荡卫星 (PLATO, 计划于 2026 年发射) 和“爱丽尔”号系外行星大气遥感红外大规模巡天卫星 (ARIEL, 计划于 2029 年发射) 等多个用于系外行星研究的科学任务, L6 任务有望通过近红外波段直接观测系外行星大气。不过, 作为对 ESA 宇宙观测和太阳系探索 2 个主题之间的平衡, L6 亦可能转向银河系演化的近红外观测。



(a) 太阳系巨行星的冰卫星, 土卫二 (Enceladus) 南极喷发的热羽流



(b) 银河系中湿润的系外行星



(c) 通过引力波或高精度光谱学观测早期宇宙大爆炸后的残余辐射

图3 “远航2050”规划选定了3个L级科学任务的方向(艺术渲染图)

2) 规划发布的是3个L级任务的科学方向, 相当于选定了空间科学任务的科学领域, 而不是已遴选出具体的科学任务。未来, ESA 将发布任务的具体要求, 落实高级专委会对每个L级任务科学方向

的建议, 继续凝练科学目标、配置有效载荷、选择卫星平台等, 及时选定任务并启动研发工作。

3) 规划还提出了 ESA 未来遴选中型、小型以及机遇型 (MO) 和国际合作任务的科学方向。虽然

ESA 表示这 18 个方向既非全面详尽,亦非一锤定音,但具有重要的指导意义。M 级任务原则上由 ESA 主导,当然 ESA 也通过国际合作参加其他国家的大型空间科学任务,但预算投入控制在 M 级任务量级。

4) 规划对先进有效载荷和创新空间技术进行了前瞻。高级专委会指出:当前,冷原子干涉测量、高分辨率 X 射线干涉测量、外太阳系探索所需能源及彗星样本低温收集和储存、太阳帆等技术成熟度(TRL)较低,即使到“远航 2050”规划周期时也未必成熟,但鉴于它们皆为能带来巨大科学回报的前沿技术、亟需前瞻部署,以便 21 世纪下半叶规划新波段引力波探测、恒星冕和系外行星成像、解析 X 射线双星轨道尺度、太阳极区观测等科学任务时可兹利用。

5) 规划强调了对新一代空间科学人才的发掘和培养。鉴于“远航 2050”规划的实施周期已超越了大多数高级专委会和专题工作组成员的职业生涯,在未来 20~30 年,下一代青年才俊有望站在当代人的肩膀上继续推动欧洲空间科学的繁荣。

6) 规划征集到的任务概念白皮书中的大部分已提交《Experimental Astronomy》发表,被编辑为两辑,包括:(a)邻近和遥远的宇宙,(b)太阳系、地球及其他行星探索,形成了约 70 余篇学术论文^[3]。

2.2 规划的管理和实施

“远航 2050”规划由 ESA 空间科学部聘任的高级专委会组织提案征集和具体编制完成。但高级专委会是个临时办事机构,其具体对接工作是由 ESA 空间科学部战略计划协调办公室(Strategy, Planning and Coordination Office)承担。

ESA 虽然宣布了“远航 2050”已启动,但从规划到具体空间科学任务还有多个环节有待落实。对于 L 级任务,接下来可谓“自上而下”,相关机构将按已选定的科学方向凝练科学目标、开展前瞻预研和关键技术攻关;对于中小型(M/S/MO 级)任务,将择机公开发布任务建议书征集,自下而上通过同行评议、竞争性遴选确定。

ESA 所有新任务,包括建议书发布到遴选完成,是由空间科学部(D/SCI)下设的未来任务办公

室(Future Missions Department, SCI-F)完成^[4],遴选后中型和大型任务将交由项目部(Projects Department, SCI-P)管理,直至在轨测试完成后再由运行部(Operations Department, SCI-O)负责在轨运行;但对于小型任务和机遇任务,则由未来任务办公室继续负责直至发射,后转由运行部负责在轨运行。

2.3 欧洲空间科学中长期规划的成效

ESA 于 1975 年成立后就实施了若干空间科学任务,如 1975 年发射的天文观测卫星 COS-B(为伽马射线空间望远镜)、1978 年与 NASA 联合实施的国际紫外探索者卫星 IUE、1983 年发射的欧洲 X 射线观测卫星(Exosat)等。但是,ESA 引领世界空间科学探索的多个领域,则更多得益于其接续开展并实施的空间科学中长期规划实践。迄今,ESA 已开展了 4 轮空间科学中长期规划,每一轮都基于百余个科学任务概念开展战略研究,进而科学确定了远至 2050 年的欧洲空间科学发展重大任务(表 2)。

1983 年,ESA 启动首轮长期规划编制,征集到任务概念建议 68 个,并于 1984 年完成《地平线 2000》(Horizon 2000),成功实施了 SOHO、Cluster、Rosetta、XMM-Newton 和 Herschel 等 5 个 L 级科学任务^[5]。1993—1995 年,基于 108 个任务概念建议完成了第 2 轮长期规划《地平线 2000+》(Horizon 2000 Plus),确定实施 2 个 L 级任务,即 Gaia 和 BepiColombo^[6]。2005 年,发布了第 3 轮长期规划“宇宙憧憬”更是得益于 151 个征集到的任务概念建议,确定了实施 3 个 L 级任务:JUICE、Athena 和 LISA^[7]。“远航 2050”则是最新的第 4 轮空间科学长期规划。

欧洲是世界航天发展版图中的重要组成部分,ESA 更是在其空间科学中长期规划的指导下,开展了 50 余项重要的空间科学与探索,取得了大量原创发现,发表了数以万计的科学论文,远非本文所能涵盖。例如,2014 年 11 月 12 日,罗塞塔搭载的菲莱(Philae)着陆器在高速运行的 67P/丘留莫夫-格拉西缅科彗星成功软着陆,是人类航天器首次登陆彗星表面,成为太空探索史上的一个重大里程碑,入选《Science》2014 年公布的十大科学突破。2011 年,诺贝尔物理学奖授予了发现宇宙加速膨

胀的波尔马特等3位科学家,ESA参与研制的哈勃空间望远镜对此做出了关键贡献。除此以外,利用哈勃望远镜对系外行星巨蟹座55e(55 Cancri e)进行了大气成分分析,这是人类第1次有能力分析一颗“超级地球”的大气层成分,并入选《Science》

在2016年公布的十大科学突破。这些重大发现和科学突破推动着人们对太阳系起源、地球生命孕育和暗物质暗能量等的科学认知,为人类文明进步做出了重要贡献。

表2 欧洲4轮空间科学中长期规划任务简表

规划周期	任务名称			国际合作(ICP)及合作对象		
	大型(L)	中型(M)	小型(S)	中型(M)	小型(S)	机遇任务(MO)
地平线 2000 (1985—2005)		依巴谷卫星/高精视差测量卫星(Hipparcos)				
		X射线多镜面空间天文台-牛顿空间望远镜(XMM-Newton) ^{1/(2)/①}	1/(1)/①			
		空间红外观测台(ISO)	1/(1)/①	哈勃空间望远镜		
		国际伽马射线空间天文台(Integral) ^{1/(2)/①} (M2)		Hubble (M, 美国)		“朱雀”卫星(SUZAKU) ^{1/(1)/①}
		普朗克卫星		NASA)		(日本JAXA)
		太阳和日球层空间观测台	(Planck) ^{1/(1)/①}	智能1号月球环绕器	1/(2)/①	—
		(SOHO) ^{2/(2)/②}	乔托卫星(Giotto) ^{2/(1)/③}	(Smart-1)	惠更斯号	双星计划 ^{2/(1)/②} (中国 CNSA)
		星簇计划	尤利西斯探测器	2/(1)/③	土星探测器 Huygens	嫦娥一号 ^{2/(1)/③} (中国 CNSA)
		(Cluster) ^{2/(2)/②}	(Ulysses) ^{2/(1)/②}		(M1, 美国)	
		罗塞塔彗星探测计划	火星快车		NASA)	
	(Rosetta) ^{2/(1)/③}	(Mars Express) ^{2/(2)/③}		2/(1)/③		
		金星快车				
		(Venus Express) ^{2/(1)/③}				
		(M4)				
地平线 2000+ (1995—2015)		盖亚卫星(Gaia)		韦布空间望远镜		“光”卫星(AKARI)
		1/(2)/①		(JWST)		1/(1)/①(日本JAXA)
		贝皮-科伦布水星探测器(BepiColombo) ^{2/(2)/①}	丽莎探路者(LISA Pathfinder) ^{1/(1)/①}	Proba-2 太阳探测卫星	1/(2)/①(M, 美国)	—
			2/(2)/②	NASA)		“柯罗”号(恒星)对流旋转和行星凌星卫星(Corot) ^{1/(1)/①} (法国 CNES)
						“瞳”卫星(HITOMI) ^{1/(1)/①} (日本JAXA)
						“日出”卫星(Hinode) ^{2/(2)/②} (日本ISAS)
						月船1号(Chandrayaan-1) ^{2/(1)/③} (印度ISRO)
						“艾莉丝”号太阳过渡层成像光谱仪卫星(IRIS) ^{2/(2)/②} (美国NASA)

表2 欧洲4轮空间科学中长期规划任务简表(续)

规划周期	任务名称					
	大型(L)	中型(M)	小型(S)	国际合作(ICP)及合作对象		
				中型(M)	小型(S)	机遇任务(MO)
宇宙憧憬 (2015—2025)	L1:“果汁”号木星冰卫星探测器(JUICE) 2/(3)/ ^③	M1:太阳轨道器(Solar Orbiter) 2/(2)/ ^② M2:欧几里得空间望远镜(Euclid) 1/(3)/ ^①	S1:系外行星表 征卫星(Cheops) 1/(2)/ ^① F1:彗星拦截器深空任务 (Comet interceptor) 2/(3)/ ^③ (S)	—	“微笑计划”太阳风-磁层相互作用全景成像卫星(SMILE) 2/(3)/ ^② (S, 中国科学院)	爱因斯坦等效原理验证小卫星(Microscope) 1/(1)/ ^① (法国 CNES) X射线成像与光谱探测卫星(XRISM) 1/(3)/ ^① (JAXA/NASA) 爱因斯坦探针卫星(Einstein Probe) 1/(3)/ ^① (中国科学院) 火星生命探测计划(Exomars—2022) 2/(3)/ ^③ (俄罗斯 Roscosmos) Proba-3 太阳探测卫星 2/(3)/ ^② (ESA 成员国及商业航天) 火星卫星探测计划(MMX, Martian Moons Exploration) 2/(3)/ ^③ (日本 JAXA)
	L2:雅典娜先进高能天体物理空间望远镜(Athena) 1/(3)/ ^① L3:丽莎计划(LISA) 1/(3)/ ^①	M3:柏拉图卫星 Plato) 1/(3)/ ^① M4:爱丽尔卫星 ARIEL) 1/(3)/ ^① M5:“展望”金星探测器(En-Vision) 2/(3)/ ^③				
	L4:太阳系巨行星之卫星探测 2/(3)/ ^③ L5:早期宇宙的新物理观 1/(3)/ ^① L6:温润的系外行星或银河系观测 1/(3)/ ^①	待遴选	待遴选	待遴选	—	待遴选

注:1、2表示ESA主题分类,1—宇宙观测,2—太阳系探索;(1)(2)(3)表示任务状态,(1)—退役,(2)—运行,(3)—规划中;①②③表示所属领域,①—空间天文,②—日球层物理,③—行星科学。

3 思考与启示

3.1 空间地球科学虽未列入“远航2050”规划但并未缺失

解读“远航2050”规划,除空间天文、日球层物理和行星科学外,并没有发现中国空间科学界同样关注的空间地球科学相关内容,并不代表欧洲忽视这一学科,这与ESA的管理模式有关。是因为ESA将空间天文、日球层物理和行星科学等空间科学任务列为强制性计划进行部署,将空间地球科学列为

选择性计划予以实施。前者由ESA空间科学部(D/SCI)负责,以宇宙观测和太阳系探索为主题,后者由ESA对地观测中心(ESRIN)负责,纳入欧洲对地观测计划(Earth Observation)中,作为其重要组成部分之一得以科学规划、接续健康发展。

ESA的空间地球科学任务主要指地球探索者(Earth Explorers)卫星计划,其主要目的是通过深入研究地球环境、气候等现象,加强对地球系统各过程的理解。目前,已成功发射重力场和海洋环流探测卫星(GOCE)等5项任务,分别进行地球重力

和地磁场、土壤湿度、海洋盐度冰冻圈、风场等的测量,为人类理解地球系统提供了新的视角;此外还规划确定支持“生物量”卫星(Biomass)等5项任务,正从4个建议中遴选“地球探索者-11”任务(表3)^[8]。

表3 ESA空间地球科学规划任务简表

规划任务	在轨运行	退役卫星
云、气溶胶和辐射监测卫星(欧-日合作,EarthCARE)(Explorer-6) ¹	星上自主项目试验	
“生物量”卫星(Biomass/Explorer-7) ¹	卫星1号(Proba-1) ²	
“荧光探测器”植被监测卫星(FLEX/Explorer-8) ¹	土壤湿度和海洋盐度	欧洲遥感卫星1号(ERS-1) ²
远红外辐射认知和监测卫星(FORUM/Explorer-9) ¹	卫星(SMOS)(Explorer-2) ¹	欧洲遥感卫星2号(ERS-2) ²
“和谐”地球科学卫星(Harmony,2颗)(Explorer-10) ¹	冰冻圈测高	欧洲空间局环境卫星(Envisat) ²
地球探索者-11(Explorer-11) ¹	卫星(CryoSat-2)(Explorer-3) ¹	重力场和海洋环流探测卫星
侦察兵任务-1:地球系统过程大气监测立方星座(3颗)(Scout-1:ESP-MACCS) ²	“蜂群”地磁场测绘	(GOCE/Explorer-1) ¹
侦察兵任务-2:水文全球导航卫星系统(GNSS)反射测量卫星(Scout-2:HydroGNSS) ²	星座(Swarm,3颗)(Explorer-4) ¹	
	“风神”卫星(Aeolus)(Explorer-5) ¹	

注:1代表地球探索者计划,2代表其他计划。

可以看出,空间地球科学任务虽未列入“远航2050”规划,但作为空间科学的重要领域,欧洲在对地观测计划中长期稳定支持了科学目标明确的卫星任务,并通过加强卫星与模型的有机结合,理解全球变化背景下地球系统及其变化规律,已取得了重要科学突破。例如,2009年发射的GOCE卫星实现了对地球重力场变化的三维高分辨率测量;2010年发射的CryoSat-2,观测两极地区冰川融化和海平面升高现象,对了解全球变暖和极地冰盖减少有着重要意义;2018年发射的Aeolus,是世界首颗风场测绘卫星,填补了全球风场观测数据的空白。

3.2 中国加紧制定面向未来空间科学发展战略规划

空间科学依托航天器为主要平台,为破解基础科学前沿关注的宇宙演化、物质结构、生命起源基本问题提供了新的利器。堪与欧洲空间科学实践比肩,中国科技界把握空间科学任务周期长、创新强、体量大的特点,亦非常重视空间科学中长期发展战略和规划研究。

进入21世纪以来,中国科学院、国家自然科学基金委员会和中国工程院先后组织开展了多轮空间科学发展战略规划及相关研究,形成了《中国至2050年空间科技发展路线图》《2016—2030空间科学规划研究报告》《航天强国发展若干重大问题研究》

《中国学科发展战略·空间科学》等成果,就中国空间科学发展的两大主题取得重要共识——“宇宙和生命是如何起源和演化的”及“太阳系与人类的关系是怎样的”,并为载人航天、月球与深空探测、空间科学战略性先导科技专项等国家重大航天任务科学目标的确定提供了重要输入。

站在“两个一百年”奋斗目标的历史交汇点上,中国空间科学已责无旁贷地肩负起实现高水平科技自立自强的新时代重任。作为接续开展战略研究的新成果,面向世界空间科学前沿和国家重大需求,已将前述两大主题深化为极端宇宙、时空涟漪、日地全景、宜居行星4个前沿探索方向,并凝练出了10项未来空间科学任务目标(表4),坚持科学目标牵引和重大产出导向,并与国家中长期科技发展规划(2021—2035)、航天强国发展纲要等国家发展规划有效衔接。

作为中国空间科学及其卫星项目和中国科学院月球与深空探测任务的总体性研究机构,中国科学院国家空间科学中心在成功实施“悟空”“墨子号”“慧眼”“怀柔一号”和“微笑计划”等空间科学先导专项科学卫星任务的基础上,加强对空间科学重大科学问题的前瞻部署,启动了面向“十四五”的空间科学卫星工程项目征集工作,得到了国内相关院所高校和单位的积极响应,已征集到逾20余个科

表4 中国至2045年空间科学探索任务规划设想

主题	方向	重点任务	预期重大突破	所属领域
宇宙和生命是如何起源和演化的	极端宇宙	宇宙演化探测	探知暗物质暗能量本质 揭示主要极端致密天体的物理规律	空间天文
		时空涟漪	揭示引力波与时空本质	
	宜居行星	系外行星探测	揭示系外行星系统及类地行星形成演化规律	
		地外生命探寻	发现太阳系地外生命证据	
太阳系与人类的关系是怎样的	宜居行星	月球探测 月球科研站	证认地-月起源理论和月球演化	行星科学
		行星探测	破解火星早期宜居环境演化规律	
	日地全景	地球系统多圈层耦合观测	揭示大尺度地球宏观过程跨维时空耦合规律 揭示空间环境下的物质运动和生命活动规律	空间地球科学
		太阳立体探测	揭示太阳磁场与爆发关系	
	外日球层探测	太阳风物质能量跨时空传输规律 开拓星际探测无人区	日球层物理	

学卫星工程项目初步建议,较全面涵盖了空间天文、太阳与空间物理、行星科学和空间地球科学领域。

3.3 中欧空间科学发展既存在竞争也蕴含合作机遇

实际上,对比欧洲与中国对空间科学未来发展的谋篇布局,正可谓《三国志》中所言“天下智谋之士所见略同”。这既反映了中外对空间科学前沿判断的高度一致,也隐喻了空间科学发展存在剧烈的国际竞争。科学突破和发现贵在首创,中国空间科学发展必须有时不我待、力拔头筹的勇气和作为。

以引力波为例,美国科学家依托地面激光干涉引力波天文台(LIGO)首次直接探测到双黑洞并合产生的高频($\sim 10\sim 100$ Hz)引力波,为人类开启了一扇认知宇宙的全新窗口,并获得了2017年诺贝尔物理学奖。而对于星系尺度上星系中心超大质量黑洞并合产生的中低频($\sim \text{mHz}\sim \text{Hz}$)引力波,唯有更长基线的空间探测方可实现。当前中欧都在未来任务规划中部署了类似的任务——欧洲在“宇宙憧憬”规划中部署了“丽莎计划”,中国“太极计划”和“天琴计划”分别开展了前期空间技术试验。显然,在空间引力波探测这个国际最前沿、最基本的科学目标上,谁能第一个率先完成,其科学突破的意义不言而喻。对中国而言,对于认准的潜在空

间科学突破,必须乘势而为,加快实施。同时,中欧空间引力波探测任务若能协同观测,互相补充和检验测量结果,亦将把人类带入用更广泛的引力波谱研究所有时空尺度新物理及宇宙奥秘的新时代。

放眼世界航天舞台,鉴于中美航天合作仍有巨大障碍——2011年美国国会通过的限制NASA与中方合作交流的“沃尔夫条款”仍然有效,而中欧空间科学合作彼此信任、沟通顺畅。双方既有任务间的合作,如中国双星计划与欧方星簇计划任务层面的成功合作,形成人类首次对地球空间完成六点立体探测,也有联合顶层策划、共同征集、遴选,并合作实施的“微笑计划”。研究表明,中国空间科学卫星任务已成功开展了全面、广泛、全方位、多层次的国际合作^[9]。可以预期,中欧空间科学未来合作的机遇依然甚多,必将为拓展认知宇宙的新边界,开辟人类永续发展的新疆域,携手打造人类命运共同体贡献力量。

3.4 “远航2050”规划对加快中国空间科学发展的启示

“远航2050”对于中国的空间科学发展具有重要的启示作用。一是空间科学发展要加强顶层设计,给予稳定支持;二是要发挥最广大科研人员积极性,集思广益,凝练重大科学前沿;三是要瞄准未来科学突破,超前部署关键核心技术攻关;四是要

加强人才队伍培养,实现空间科学事业的可持续发展;五是要开展多种形式的国际合作,协作共赢,共同为人类文明进步做出重大贡献。

参考文献(References)

- [1] Voyage 2050 sets sail: ESA chooses future science mission themes[EB/OL]. [2021-10-12]. https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Voyage_2050_sets_sail_ESA_chooses_future_science_mission_themes.
- [2] Voyage 2050, Final recommendations from the Voyage 2050 Senior Committee[EB/OL]. [2021-10-12]. <https://www.cosmos.esa.int/documents/1866264/1866292/Voyage2050-Senior-Committee-report-public.pdf/e2b2631e-5348-5d2d-60c1-437225981b6b?t=1623427287109>.
- [3] Favata F, Hasinger G, Tacconi L J, et al. Introducing the Voyage 2050 White Papers, contributions from the science community to ESA's long-term plan for the Scientific Programme[J]. *Experimental Astronomy*, 2021, 51(3): 551-558.
- [4] Future missions department[EB/OL]. [2021-10-12]. <https://sci.esa.int/web/future-missions-department/-/59766-future-missions-department>.
- [5] Longdon N. *European space science: Horizon 2000*[M]. Noordwijk, The Netherlands: ESA Scientific & Technical Publications Branch, 1984.
- [6] Battrick B. *Horizon 2000+: European space science in the 21st century*[M]. Noordwijk, The Netherlands: ESA Publications Division, 1995.
- [7] Southwood D. *Cosmic vision, space science for Europe 2015-2025*[M]. Noordwijk, The Netherlands: ESA Publications Division, 2005.
- [8] 苏晓华, 时蓬, 白青江, 等. 空间地球科学卫星发展及应用[J]. *卫星应用*, 2021, 7: 21-29.
- [9] 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.

Voyage 2050: ESA Science's Long-term plane and enlightenment

WANG Chi, SHI Peng, SONG Tingting, WEI Haiyan, WANG Qin, FAN Quanlin*

Space Science and Deep Space Exploration Study Center, National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Abstract The Voyage 2050 released by the European Space Agency (ESA) in its science programme for the time frame 2035-2050 in June 2021 attracts the global attention of all walks of life. This paper presents a comprehensive and in-depth scientific interpretation of the plan, and it is shown that the Voyage 2050 focuses on major scientific frontiers, looks forward to the future technological innovation, and identifies the top three priorities for the future large-class missions, i.e., the moons of the giant Solar System planets, the temperate exoplanets or the galactic ecosystem, and the new physical probes of the early Universe. In the Voyage 2050, 14 candidate themes are listed for the medium and small missions, several recommendations are made for the key payload technology development for more long-term breakthrough scientific returns, and the importance of training the next generation of space science talents is emphasized.

Keywords Voyage 2050; space science; space science mission; cosmos observation; solar system exploration; earth science; space power ●



(责任编辑 王丽娜)