

# 2021年空间科学热点回眸

王赤<sup>1,2</sup>, 杨帆<sup>3</sup>, 韩淋<sup>3</sup>, 王海名<sup>3</sup>, 范唯唯<sup>3</sup>, 张凤<sup>2,3\*</sup>

1. 中国科学院国家空间科学中心, 北京 100190
2. 中国科学院大学, 北京 100049
3. 中国科学院科技战略咨询研究院, 北京 100190

**摘要** 回顾了2021年全球空间科学重要进展、美欧俄中等国家和地区组织最新空间科学重大发展战略和规划、新发射的空间科学任务平台和新选定的未来任务。盘点了“帕克太阳探测器”首次飞越日冕,“洞察号”揭示火星内部结构,阿联酋、中国、美国探测器齐聚火星,美国绘制天文学和天体物理学发展路线图,欧洲确定2035—2050年大型空间科学任务科学主题,中俄发布国际月球科研站路线图,“詹姆斯·韦伯空间望远镜”成功发射,中国成功发射太阳探测科学技术试验卫星和可持续发展科学卫星,美欧批准新的金星探测任务等重大成果和事件。

**关键词** 空间科学;2021研究前沿;战略规划;空间科学任务平台

空间科学利用空间飞行器平台开展空间天文、空间物理、太阳物理、太阳系探测、空间地球科学、微重力科学、空间生命科学、空间基础物理等学科领域科学研究和实验,是航天事业的重要活动之一。空间科学以发现新现象、探索科学规律为目标,取得科学成果是空间科学研究的出发点和最终评价依据<sup>[1]</sup>。2021年,空间科学主要学科领域取得重要突破,特别是“帕克太阳探测器”首次“触摸”太

阳大气,“洞察号”“聆听”火星脉动揭秘火心心声,“贝皮-科伦坡”“初尝”水星科学美妙滋味等进展令人耳目一新,受到全球科技界的高度评价和大众媒体的广泛关注。其他重要研究进展还包括:“雨燕伽马射线暴”等首次证实潮汐破坏事件可能会产生高能中微子,“斯皮策空间望远镜”发现银河系人马臂断裂结构,“嫦娥五号”月球样品分析结果深化月球演化认知,“希望号”、“天问一号”“毅力号”先

收稿日期:2022-01-20;修回日期:2022-02-09

基金项目:中国科学院空间科学战略性先导科技专项(XDA15015700,XDA15015900);中国科学院重点领域战略情报研究与重点成果项目(E1X12716);中国科学院科技战略咨询研究院重大突破项目(E1X0771601)

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、空间科学与技术发展战略和政策,电子信箱:cw@spaceweather.ac.cn;杨帆(共同第一作者),研究员,研究方向为空间科技战略情报、空间科技政策,电子信箱:yangfan@casisd.cn;张凤(通信作者),研究员,研究方向为科技发展战略与政策,电子信箱:fzhang@casisd.cn

引用格式:王赤,杨帆,韩淋,等. 2021年空间科学热点回眸[J]. 科技导报, 2022, 40(5): 6-21; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2022.05.001

后抵达火星,“朱诺号”实现木星大气三维观测,国际空间站成果频出,中国空间站教育项目引发全社会热烈反响等。同时,各国和地区积极谋划未来空间科学发展。例如,美国确定空间优先事项,绘制天文学和天体物理学发展路线图,确定“阿尔忒弥斯”载人月球探索计划科学目标;欧洲宣布“旅程2050”空间科学规划大型任务优先科学主题;中俄联合发布国际月球科研站路线图和合作伙伴指南;美欧、金砖国家分别达成地球科学和气候变化合作协议等系列重大战略纷纷出台。继“露西”小行星探测任务、“可持续发展科学卫星1号”“X射线偏振成像探索者”等之后,2021年底成功发射的“詹姆斯·韦伯空间望远镜”标志着2021年全球空间科学发射任务完美收官。未来更多更新颖的天体物理学任务、太阳系探测器、地球系统科学空间研究平台等将接续进入实施阶段。

## 1 2021年空间科学重要研究进展

2021年,空间科学主要学科领域如空间天文、空间物理、太阳物理、太阳系探测、空间地球科学、微重力科学等不断产出重要研究成果,孕育未来重大突破。

### 1.1 “雨燕伽马射线暴”等任务首次观测到潮汐破坏事件中发射的高能中微子

利用美国国家航空航天局(NASA)“雨燕伽马射线暴”(Swift)等天基和地基望远镜的观测数据,研究人员首次观测到黑洞撕裂恒星事件(即潮汐破坏事件)AT2019dsg中发射的高能中微子<sup>[2]</sup>。这一发现也是天文学家继2018年公布首个被证实的高能中微子源blazar星系之后,第2次将高能中微子与系外天体联系起来。天体物理学家长期以来一直在理论上认为潮汐破坏事件可能会产生高能中微子,此次发现首次将理论与观测证据联系在一起,但AT2019dsg事件并没有按照理论预期的时间和方式产生中微子,未来需要对这些现象究竟是如何发生的进行更加深入的研究<sup>[3-4]</sup>。

空间科学先导专项首发星“暗物质粒子探测卫星”/“悟空号”任务团队正式发布2016年1月1日—

2018年12月31日的伽马光子科学数据<sup>[5]</sup>,有望为宇宙起源、暗物质探测等科学前沿问题的研究提供重要数据支持。

### 1.2 “钱德拉X射线天文台”或发现早期宇宙超大质量黑洞的超长粒子射流

天文学家利用NASA“钱德拉X射线天文台”(Chandra)的高精度观测能力对目前已发现的诞生于大爆炸后约10亿年内的最为高能的两颗类星体之一——超大质量黑洞PJ352-15进行了为期3d的观测,以寻找X射线喷流的证据<sup>[6]</sup>。最终,研究团队在距离黑洞约16万光年的位置探测到了X射线喷流,这也意味着喷流的长度达到了创纪录的16万光年,而整个银河系的跨度约为10万光年<sup>[7]</sup>。PJ352-15超长的射流长度表明,为射流提供动力的超大质量黑洞的质量增长已经持续了相当长的时间,充分证明对遥远类星体的X射线波段观测已经成为研究最遥远的超大质量黑洞成长的关键方法,有助于解释超大质量黑洞在宇宙早期是如何形成的。与此同时,PJ352-15也成为迄今在X射线波段观测到的最遥远的带有喷流的超大质量黑洞。

同时,俄罗斯“光谱-RG”(Spektr-RG)空间天文台发布首个数据集,发现18个正在形成的星系团,拍摄到距地球不足3亿光年包含数千个星系的星系团X射线图像,发现超新星遗迹Hoinga,见证了大质量黑洞的觉醒,完成第3次巡天并绘制出最详细的X射线源地图<sup>[8]</sup>。

### 1.3 研究人员绘制出全新银河系最外层全天空地图

利用欧洲空间局(ESA)“盖亚”(Gaia)空间望远镜和NASA“近地天体宽视场红外巡天探索者”(NEOWISE)任务的长期观测数据,研究人员绘制出银河系最外层区域的新版全天空地图,并揭示出大麦哲伦星系在穿过银晕时,其引力在身后的恒星中产生距离银河系中心20万~32.5万光年的尾迹<sup>[9]</sup>。同时,由于目前有关暗物质性质的各种理论都支持暗物质存在于星系晕中,因此研究还分析了大麦哲伦星系在新版地图中留下的尾迹的特性,结果发现根据冷暗物质理论推算的结果与实际观察到的星图相对更加吻合。

#### 1.4 “斯皮策空间望远镜”发现银河系人马臂断裂结构

利用“斯皮策空间望远镜”(Spitzer)的红外观测数据,研究人员首次在银河系的人马臂(Sagittarius Arm)中发现一个断裂结构:一批年轻的恒星和正在形成的气体云从银河系人马臂中伸出来,绵延约3000光年<sup>[10-11]</sup>(图1)。结合ESA“盖亚”(Gaia)任务综合数据可以确认,断裂结构的旋臂倾角达 $60^\circ$ ,与大多数银河系模型计算的人马臂形成的旋臂倾角(约为 $12^\circ$ )差异悬殊。这是首次在银河系旋臂上发现如此复杂的精细结构,断裂结构中的恒星很可能是在同一时间、同一区域形成的,并受到银河系内作用力的影响,包括引力和银河系旋转带来的剪切力。对该结构的研究或可为了解整个银河系的大规模结构提供新的启示。

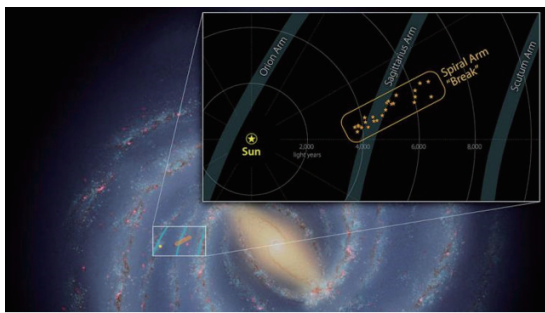


图1 人马臂断裂结构位置示意(图片来源:NASA)

#### 1.5 “系外行星凌星巡天卫星”发现4颗行星和2颗年轻恒星组成的复杂系统

基于NASA“系外行星凌星巡天卫星”(TESS)任务的观测数据,研究人员发现一个由4颗行星和2颗年轻恒星组成的复杂恒星系统,其中,恒星TOI 2076拥有3颗“迷你海王星”型的行星;恒星TOI 1807拥有1颗已知行星,其公转周期仅为13 h,在系外行星中非常罕见<sup>[12]</sup>。2颗恒星距太阳系超过130光年,两者之间的距离约30光年。天文学家认为这2颗恒星相距太远,因此不会相互绕转,但共同的运动方向表明两者是相互关联的,或起源于同一团气体。由于这2个恒星系统中的行星都处于生命周期的过渡或青少年阶段,对该系统的研究有望获得更多有关行星演化的知识,为了解太阳系早期情况打开一扇窗<sup>[13]</sup>。

#### 1.6 “帕克太阳探测器”首次飞越日冕

2021年12月,NASA宣布“帕克太阳探测器”(PSP)在人类航天史上首次穿越太阳高层大气——日冕并进行粒子采样和磁场原位测量(图2),标志着太阳物理学研究实现重大飞跃<sup>[14]</sup>。太阳大气层终结和太阳风开始的临界点被称为阿尔文临界面(Alfvén critical surface),根据对日冕远程图像的分析,估计该界面位于距离太阳表面约10~20个太阳半径的位置。2021年4月28日,在第8次飞掠太阳期间,“帕克太阳探测器”在太阳表面上方18.8个太阳半径处观测到特定的磁性和粒子条件,证实探测器首次越过阿尔文临界面、进入了太阳的大气层(图3)<sup>[15]</sup>。研究同时证实太阳风内部的磁性锯齿状结构起源于太阳的光球层<sup>[16]</sup>。

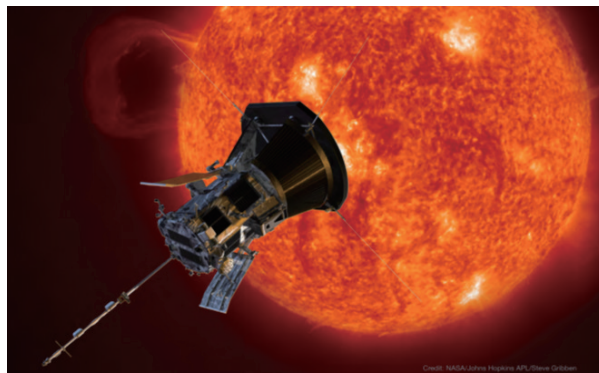


图2 “帕克太阳探测器”(PSP)任务概念图  
(图片来源:NASA)



图3 “‘帕克太阳探测器’进入太阳外层大气”以封面文章  
发表在《Physical Review Letters》  
(图片来源:American Physical Society)

人们一直认为太阳风磁场中的锯齿状结构是仅限于太阳极地地区的偶发现象。2019年,在距离太阳34个太阳半径处,“帕克太阳探测器”发现锯齿状结构在太阳风中很常见。在第6次飞越太阳时,“帕克太阳探测器”帮助研究人员将锯齿状结构的起源地进一步约束至与磁漏斗(magnetic funnels)对齐的斑块(“超颗粒”(supergranules))。“帕克太阳探测器”于2018年发射,旨在通过比以往任何航天器都更接近太阳来探索太阳的奥秘。任务期间,“帕克太阳探测器”将数次飞掠太阳,最终到达离太阳表面8.86太阳半径(约600万km)的位置。2022年1月,“帕克太阳探测器”将再次飞掠太阳,并有机会再次穿过日冕。

《天文学和天体物理学》于2021年12月推出另一项重要任务“太阳轨道器”(Solar Orbiter)巡航阶段成果特刊,包括首次观测到大范围太阳高能粒子事件、首次探测到强隐形日冕物质抛射的太阳起源、在日冕中捕捉到瞬态等离子体流和射流等57项成果<sup>[17-18]</sup>。

结合“太阳动力学天文台”(SDO)观测数据和先进图像处理技术,研究人员首次观测到太阳上较小的羽状结构——小羽流(plumelet),获得了对产生高速太阳风的太阳结构的新见解,将帮助理解太阳风中扰动的形成方式和原因<sup>[19]</sup>。

中国首颗大型X射线天文卫星“慧眼号”完整探测到了第24太阳活动周最大耀斑的高能辐射过程,获得了耀斑过程中非热电子的谱指数演化,为理解太阳高能辐射随时间演化问题提供了新的观测结果<sup>[20]</sup>。

### 1.7 “嫦娥五号”月球样品研究揭示月球演化奥秘

“嫦娥五号”月球科研样品研究取得突破性进展<sup>[21]</sup>。2021年10月,中国科学院召开新闻发布会并宣布,研究证明“嫦娥五号”月球样品为一类新的月海玄武岩,对着陆区岩浆年龄、源区性质给出全新的认识,月球最“年轻”玄武岩年龄为20亿年,其晚期岩浆活动的源区并不富集放射性元素,并且月幔源区几乎没有水。此次公布的2021年5月立项启动的“嫦娥五号”月球样品科研任务的首批研究成果,是人类关于月球研究最新的突破性进展。同

时,中国科学院还积极推动月球样品研究的国际合作,在更广阔的平台践行习近平总书记提出的人类命运共同体理念。

### 1.8 阿联酋、中国、美国探测器齐聚火星

阿联酋“希望号”(HOPE)探测器于2021年2月9日成功进入火星轨道,标志着阿联酋成为第5个到达火星的国家/地区<sup>[22]</sup>(图4)。“希望号”计划运行2年,并可能再延期1年。由于采用了比其他火星任务更高的轨道,“希望号”将实现对火星的全球视角观测,并可每9天完成对火星大气的一次全景观测。2021年2月14日,“希望号”传回首张图片。

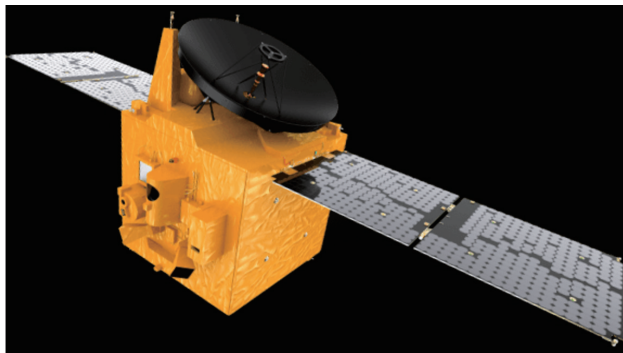


图4 阿联酋“希望号”火星探测器  
(图片来源:阿联酋航天局)

中国“天问一号”探测器于2021年2月10日进入火星轨道,5月15日着陆巡视器与环绕器分离,前者于当日成功软着陆于火星乌托邦平原南部预选着陆区,后者随后进入中继通信轨道。2021年5月22日,“祝融号”火星车(图5)驶上火星表面开始

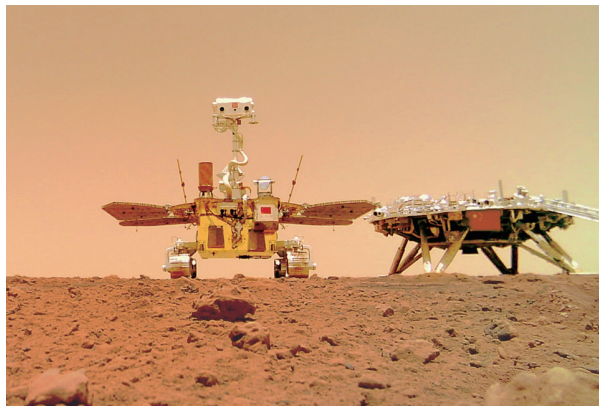


图5 中国“祝融号”火星车  
(图片来源:国家航天局)

巡视探测,陆续完成着陆平台成像、着陆点附近科学考察,地面成功接收相关数据并形成了首批科学成果。“天问一号”首次成功实现了通过一次任务完成火星环绕、着陆和巡视3大目标,标志着中国在行星探测领域跨入世界先进行列<sup>[23]</sup>。“天问一号”总设计师张荣桥入选《Nature》2021年度十大人物<sup>[24]</sup>。

美国“火星2020”(Mars 2020)任务漫游车“毅力号”(Perseverance)于2021年2月18日成功着陆火星,成为历史上第9个到达火星表面的探测器<sup>[25]</sup>(图6)。“毅力号”将对Jezero环形山开展为期2年的科学考察,搜寻古代生命迹象,并采集和存储样本,以待日后其他任务将样本送回地球。2021年4月,“毅力号”上搭载的小型自主旋翼飞行器“机智号”(Ingenuity)成功升空,标志着首次实现在地外天体上的有动力受控飞行<sup>[26]</sup>;“毅力号”搭载的火星氧气原位资源利用实验基于火星稀薄大气中的二氧化碳制备出氧气,标志着首次实现在地外天体上制氧<sup>[27]</sup>。2021年9月,“毅力号”成功采集到首个火星岩石样本,取得历史性的里程碑成就<sup>[28]</sup>。

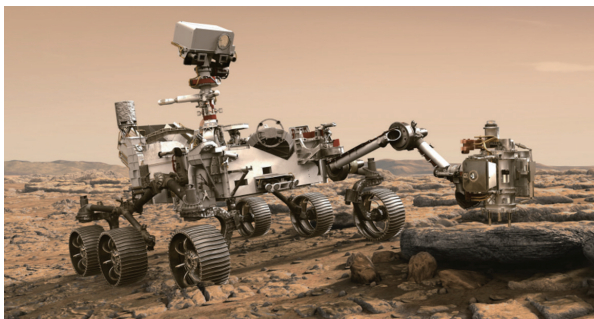


图6 美国“毅力号”火星车  
(图片来源:NASA)

### 1.9 “洞察号”揭示火星内部结构

基于“洞察号”(InSight)地震仪的探测数据对火星内部结构的首批研究成果于2021年7月上《Science》封面(图7)。“洞察号”搭载的内部结构地震实验记录了733次火震事件,其中35次的强度在3.0~4.0级之间,为最新突破提供了重要的数据基础。3篇论文分别总结了对火星壳<sup>[29]</sup>、火星幔<sup>[30]</sup>和熔融态火星核<sup>[31]</sup>的研究发现。火星壳厚度约在24~72 km之间,岩石圈深约500 km,岩石圈下方可能存在与地球相似的低速层。火星壳可能富含起到



图7 “洞察号”揭示火星内部结构  
(图片来源:《Science》)

辅助加热作用的放射性元素。巨大的火星核呈液态,直径约1830 km,这意味着火星幔只有一个岩石层,与地幔截然不同。这是对地球以外的另一颗岩质行星的壳、幔、核结构的首次直接观测,可用以与地球的相关特性进行比较研究。该项成果入选《Science》2021年度十大科学突破<sup>[32]</sup>。“洞察号”已正式获批延期运行至2022年12月,重点开展高质量火震数据长期采集<sup>[33]</sup>。

其他火星任务也取得多项重要成果。基于“好奇号”(Curiosity)的观测数据发现火星上极有可能存在有机盐,为现代火星的宜居性提供了更多的支持证据<sup>[34]</sup>。基于“火星快车”(Mars Express)上搭载的火星大气光谱学表征研究仪器在4个火星年(7.5个地球年)采集的观测数据,证实火星大气中臭氧和水蒸气呈负相关关系,研究结果有助于更好地了解地球大气化学过程<sup>[35]</sup>。

### 1.10 “朱诺号”加深对木星极光和大气的理解

“朱诺号”(Juno)取得多项重要成果,包括首次揭示木星极光晨暴起源和X射线极光成因、首次实现对木星大气的三维观测等(图8)。研究人员利用“朱诺号”搭载的极光相机首次拍摄木星夜侧极光过程,揭示了木星最重要的极光现象——木星晨暴的起源和发展阶段,更新了对木星极光的认知<sup>[36]</sup>。研究人员利用“X射线多镜面-牛顿”(XMM-Newton)望远镜和“朱诺号”任务的观测数据,揭示



图8 “朱诺号”深入探测木星大气  
(图片来源:《Science》)

了极光产生的完整链条,解决了困扰科学家长达40年之久的木星X射线极光成因之谜<sup>[37]</sup>。“朱诺号”搭载的微波辐射计对木星云顶下方及众多涡旋风暴结构的探测结果,更全面地展示了木星独特多彩的大气特征,为了解云层下的未知过程提供了线索<sup>[38]</sup>。“朱诺号”已正式获批延期运行至2025年9月,除继续观测木星外,还将对木星系统进行探测,包括木星环和多个较大卫星,并计划对木卫三、木卫二和木卫一进行专门观测和近距离飞越探测<sup>[33]</sup>。

#### 1.11 水星、金星、小行星等探测任务取得里程碑进展或重要成果

“贝皮-科伦坡”(BepiColombo)以最近——199 km的距离飞越水星,首次探测了水星周围的磁场和粒子环境,并利用加速度计记录了水星引力,此外通过首次将磁场和加速度计数据转换为声音文件,展示了太阳风近距离轰击一颗行星的“声音”<sup>[39]</sup>。“拂晓号”(Akatsuki)首次实现在日间和夜间分别测量金星不同云层高度处的风速,并发现在夜间会产生一股与白天相反的、吹向赤道的南北风,增进了对金星超高速大气环流机制的理解<sup>[40]</sup>。研究人员利用“黎明号”(Dawn)在2011—2012年对灶神星的观测数据开展数值模拟,描绘了关于早期太阳系碰撞历史的新图景<sup>[41]</sup>。研究发现,灶神星多次遭受大型岩质天体的撞击,且时间比此前认为的要早得多。“起源、光谱分析、资源识别与安全-风化

层探测器”(OSIRIS-REx)带着从近地小行星Bennu采集的大量岩石和尘埃样本启程返回地球,预计将于2023年9月在美国犹他州着陆<sup>[42]</sup>。“新地平线号”(New Horizons)成为第5个达成飞行50 AU里程碑成就的航天器。“新地平线号”的核动力电池可支持其工作至21世纪30年代末期,任务团队正在利用地基天文台为其寻找下一个飞越目标<sup>[43]</sup>。

#### 1.12 “重力勘测和气候试验”及后继任务揭示地球水循环随气候变暖而加速

利用美德合作的“重力勘测和气候试验”(GRACE)和“GRACE后续任务”(GRACE-FO)2颗卫星2003—2019年的长期观测数据,研究人员计算出蒸散增量,并通过测量海洋与各大陆之间水的质量变化,确定蒸散量的增速比此前估计值高出2倍,表明地球水循环正在发生变化<sup>[44]</sup>。“重力勘测和气候试验”(GRACE)于2002年3月发射,开创了空间遥感的新领域——跟踪水的运动;“GRACE后续任务”于2018年5月发射,并接棒前任持续追踪地球水循环,监测地下水量、大型湖泊和河流水量、土壤湿度、冰盖和冰川以及海平面变化,为地球气候观测提供独特视角<sup>[45-46]</sup>。

#### 1.13 国际空间站持续产出重要科研成果,中国空间站科研应用世界瞩目

基于国际空间站各项科研活动在2020年11月—2021年11月期间发表的400余篇论文,NASA遴选出9项具有代表性的年度科研成果<sup>[47]</sup>:空间飞行使得成熟及新生的心血管干细胞的能力均得到增强,有望提升其再生、存活和增殖能力;在聚合物材料中添加硬硼钙石可减少材料吸收的辐射剂量;生物采矿研究发现,在微重力下微生物从玄武岩中提取稀土元素的表现更好;为实现太空建造开展的空间水泥研究发现,微重力下铝酸三钙和石膏混合物形成独特的微观结构,并可能影响材料强度;对参加两次飞行任务的航天员腿部静脉健康研究发现,下肢肌肉良好、足够的飞行间隔时间以及在轨体育锻炼可保障腿部静脉健康不会恶化;用于夜间工作的多用途紫外望远镜“极端宇宙空间天文台多波长成像新仪器”(Mini-EUSO)观测到地球大气辉光和紫外辐射的变化,并跟踪了空间碎片和超高能宇宙

线;骨生物标志物和运动史有助于评估骨丢失风险更大的航天员,同时飞行期间的抗阻训练有助于保持骨骼强度;气体燃料球形火焰的烟尘产生与控制研究增进对火灾行为的理解;“大气-空间相互作用监测器”(ASIM)观测到地球云层上部正负电荷区域扰动产生的放电现象——蓝色喷流,并揭示闪电机制。

2021年4月29日,中国空间站天和核心舱成功发射,这不仅标志着中国载人航天工程“三步走”成功迈出第三步,开始建造长期有人照料的空间站,更宣告中国开启空间站任务的新时代<sup>[48]</sup>。按照建造任务规划,2021、2022这2年中国将接续实施11次飞行任务,于2022年完成空间站在轨建造。空间科学实验方面,在空间站天和、问天、梦天3个舱段舱内共安排了13个科学实验柜,舱外还安排了若干暴露实验平台,同时巡天空间望远镜与空间站共轨飞行。这些重大设施可支持在轨实施9个空间学科领域30余个研究主题的科学实验,预计可滚动实施近千项实验项目。根据2019年6月中国载人航天工程办公室与联合国外空司联合公布的结果,共有来自17个国家、23个实体的9个项目成功入选中国空间站首批空间科学实验<sup>[49]</sup>。

天和核心舱发射后,中国空间站任务重大进展不断加速。天舟二号、天舟三号货运飞船成功发射<sup>[50-51]</sup>,在与天和核心舱对接后转入三舱(船)组合体飞行状态<sup>[52]</sup>。神舟十二号、神舟十三号载人飞船成功发射<sup>[53-54]</sup>,2批共6名航天员先后顺利进驻天和核心舱,并圆满完成空间站出舱活动全部既定任务<sup>[55-56]</sup>。核心舱科学无容器材料科学实验柜在轨科学实验样品顺利完成交接<sup>[57]</sup>。中国空间站开展首次太空授课活动,航天员演示并讲解了微重力环境下细胞学实验、人体运动、液体表面张力等现象及其科学原理,在全社会引起热烈反响<sup>[58]</sup>。

## 2 2021年空间科学重大发展战略

2021年美国、欧洲、俄罗斯、中国等纷纷出台重大战略和规划,为空间科学未来发展之路提供前瞻指引和政策保障。

### 2.1 美国确定空间优先事项,绘制未来10年天文学和天体物理学发展路线图及载人月球探索科学目标

美国白宫于2021年12月1日发布《关于国家空间委员会的行政命令》,确定新一届美国国家空间委员会的成员和职责<sup>[59]</sup>。美国副总统哈里斯随后主持召开国家空间委员会自拜登总统上任以来的首次会议,并发布《美国空间优先事项框架》报告,重点提出美国空间政策的2大优先事项<sup>[60]</sup>:保持强大的美国航天事业,以及在负责任、和平和可持续地探索和利用外层空间方面发挥领导作用。

2020年12月,上一届美国国家空间委员会发布《行星保护国家战略》<sup>[61]</sup>,旨在促进美国在可持续空间探索中发挥作用,为其他行星体和地球免受空间探索活动可能造成的有害生物污染提供适当保护。2021年1月,白宫发布特朗普签署的空间政策七号令,为服务美国国家和国土安全、民用、商用和科学目标的天基定位、导航和授时(PNT)计划和活动制定行动指南<sup>[62]</sup>。2021年10月,白宫公布NASA的2021年气候适应与恢复计划,描绘了NASA在适应气候变化对其任务、设备、基础设施、场地和其他资产的影响方面的当前与未来愿景,明确了NASA将气候风险因素纳入其管理职能及相关流程的5大优先事项和可用资源<sup>[63]</sup>。

美国国家科学院于2021年11月发布新版“十年调查”报告《21世纪20年代天文学和天体物理学的发现之路》,确定了未来10年(2022—2032年)美国在天文学和天体物理学领域的科学主题、科学愿景和资助建议,提出未来10年应重点围绕系外行星系统、新信使和新物理学、宇宙系统3个宽泛的科学主题开展研究,并对开辟通往宜居世界的道路、打开动力学宇宙研究的新窗口、揭示星系增长的驱动力等3个科学领域予以优先资助,同时建议NASA设立一项大型天文台任务和技术成熟计划,启动前沿的大型(口径约6 m)红外/光学/紫外空间望远镜等大型项目,继续发展和平衡资助中小型科学项目,夯实、培育和维持天文学和天体物理学研究的专业基础和研究基础<sup>[64-65]</sup>。

NASA 陆续披露“阿尔忒弥斯”载人月球探索计划的科学研究与应用目标体系<sup>[66]</sup>, 7大顶层科学目标包括了解行星过程, 了解挥发物周期, 解释地-月系统撞击史, 揭示太阳远古历史, 利用独特的月基位置观测宇宙, 在月球环境下开展科学实验, 研究深空探索对人体的风险及减缓措施。

## 2.2 欧盟启动一体化空间计划, ESA 选定“旅程 2050”空间科学规划大型任务科学主题

欧盟委员会、ESA 和欧盟空间计划局于 2021 年 6 月正式启动欧盟全新的一体化空间计划<sup>[67]</sup>, 涵盖“哥白尼”计划、“伽利略”全球导航卫星系统、“欧洲地球同步卫星导航覆盖系统”“空间态势感知”和“政府卫星通信”。欧盟将在 2021—2027 年向 ESA 投资近 90 亿欧元, 由 ESA 继续负责欧盟空间计划各部分的开发和实施。

ESA 发布《ESA 2025 年议程》报告, 展示了 ESA 未来发展的新愿景, 提出强化与欧盟关系、推动商业化、加强空间安全、实施重大计划、改进内部流程等 5 项优先事项及相应重点工作<sup>[68]</sup>。ESA 成员国部长级中期会议通过决议, 提出发展绿色未来空间、快速和弹性应对危机、保护空间资产, 将欧洲空间事业提升到新水平, 并再次强调未来将通过开展冰月采样返回任务和载人空间探索等重大空间活动, 加强欧洲在科学发现、技术发展和教育激励方面的领导地位<sup>[69]</sup>。

ESA 科学计划委员会于 2021 年 6 月正式宣布“旅程 2050”(Voyage 2050)空间科学规划中计划在 2035—2050 年时间框架内开展的 3 项大型任务的优先科学主题: 巨行星卫星, 系外行星或银河系, 早期宇宙<sup>[70]</sup>。同时 ESA 正在太阳系科学、天体测量学、天文学、天体物理学、基础物理等各领域中识别中型任务主题, 包括可能参与 NASA 下一代旗舰天文望远镜以及外太阳系任务等大型国际合作任务。ESA 还提出对用于制造原子钟的冷原子干涉测量, 未来可用于黑洞等致密天体研究的 X 射线干涉测量, 未来行星任务开发技术、特别是可实现外太阳系探测的更好的动力源, 以及用于未来采样返回任务的彗星冰样本采集和存储技术等前沿技术进行投资, 以期在 21 世纪后半叶取得突破性的科学回

报。ESA 新一轮空间科学长期规划“旅程 2050”的规划论证工作始于 2019 年, 目的是接续当前正在实施的至 21 世纪 30 年代中期的“宇宙憧憬”(Cosmic Vision)规划, 由高级委员会负责大中型任务科学主题的推荐, 由 ESA 通过任务建议征集的形式进行任务遴选。

## 2.3 俄罗斯讨论空间领域长期发展优先事项, 确定建设俄罗斯空间站

俄罗斯总统普京在 2021 年 4 月召开的宇航日视频会议上表示<sup>[71]</sup>, 俄罗斯需要为保持核力量和航天力量的领先地位提供一切必要的支持, 包括继续开展国际项目, 并不断解决新的基础研究问题, 同时利用国家优势增强国防能力, 提高俄罗斯科学、技术和经济发展速度等。当务之急是制定和批准可实现《2030 年前及未来俄联邦航天活动领域国家政策原则的基本规定》中优先事项的具体措施文件, 并高度重视数字化转型问题。普京还明确提出要建设俄罗斯本国空间站<sup>[72]</sup>。据悉, 未来俄罗斯轨道站上用于空间科学实验的设备将置于外部, 而不像目前国际空间站上那样位于内部<sup>[73-74]</sup>。2021 年 4 月俄罗斯国家航天集团公司(Roscosmos)向媒体展示新轨道站的首个舱段——科学动力舱<sup>[75]</sup>, 8 月俄罗斯“能源”火箭公司宣布正在开发俄罗斯轨道服务站<sup>[76]</sup>, 9 月 Roscosmos 科学技术委员会和俄罗斯科学院空间理事会共同向俄罗斯内阁提交关于组建俄罗斯轨道服务站的建议<sup>[77]</sup>。针对俄罗斯继续参与国际空间站项目的可行性问题, Roscosmos 表示将在 2024 年后做出关于国际空间站相关工作的决定, 并与合作伙伴就 2024 年后互动的条件和形式开展谈判<sup>[78]</sup>。

## 2.4 中俄联合发布国际月球科研站路线图和合作伙伴指南

2021 年 3 月 9 日, 中俄签署《中华人民共和国政府和俄罗斯联邦政府关于合作建设国际月球科研站的谅解备忘录》, 双方将秉持“共商、共建、共享”原则, 推动国际月球科研站(ILRS)广泛合作, 面向所有感兴趣的国家和国际伙伴开放, 加强科学研究交流, 推进全人类和平探索利用太空<sup>[79]</sup>。2021 年 6 月 16 日, 中俄联合发布《国际月球科研站路线

图(V1.0)》和《国际月球科研站合作伙伴指南(V1.0)》<sup>[80]</sup>,介绍了国际月球科研站的概念、科学领域、实施途径和合作机会建议等内容,欢迎国际伙伴在项目的规划、论证、设计、研制、实施、运营等各个阶段以及在任务的各个层级参与国际月球科研站合作。根据路线图和合作指南,国际月球科研站已确定8大科学目标:月球地形地貌与地质构造,月球物理与内部结构,月球化学(物质成分与年代学),地月空间环境,月基天文观测,月基对地观测,月基生物医学实验,月球资源原位利用。国际月球科研站的建设分为勘(2021—2025年)、建(2026—2035年)、用(2035年后)3个工程阶段。国际月球科研站顶层设计包含地月运输设施、月球表面长期支持设施、月球运输和运行设施、科学设施、地面支持和应用设施等,目前已初步确定5项任务。随着国际月球科研站工作逐步深入,中俄还会适时推出路线图和指南的更新版本,进一步明确国际月球科研站各工程阶段里程碑计划,适时发布合作伙伴加入程序,以确保整体项目稳步推进。

### 2.5 双边和多边气候变化战略合作备受瞩目

ESA和NASA共同签署协议,建立地球科学和气候变化研究战略合作伙伴关系,双方将在地球科学观测、研究和应用方面共同努力,为引领全球应对气候变化铺平道路<sup>[81]</sup>。中国、巴西、俄罗斯、印度、南非共同签署《关于金砖国家遥感卫星星座合作的协定》<sup>[82]</sup>,该协定是金砖国家在和平利用空间领域开展互利合作的一项重要新成果,同时体现了金砖国家在空间活动领域从双边协议向各国内部以多边形式实施合作的转变<sup>[83]</sup>。

## 3 2021年新发射空间科学任务平台和新遴选的未来任务

2021年一批新的空间科学平台成功发射,一批未来任务浮出水面,为加速更多前沿突破、支持领域可持续发展奠定基础。

### 3.1 新发射空间科学任务平台

1) 美国成功发射“詹姆斯·韦伯空间望远镜”(JWST)。备受关注的NASA旗舰级任务——“詹

姆斯·韦伯空间望远镜”于2021年12月25日成功发射,踏上奔赴日地L2点的征程。作为NASA“哈勃空间望远镜”(HST)的继承者,造价高达100亿美元的JWST是人类迄今为止功能最强大的空间望远镜,旨在寻找早期宇宙中首批星系并探索银河系以及系外行星系统<sup>[84]</sup>。

JWST采用了超轻铍镜面、可展开的多层遮光罩、超冷机械制冷机、用于选择特殊视场的微型快门、传输和存储大量数据的通信网络、记录极弱信号的超敏感红外探测器等若干前沿技术,性能比“哈勃空间望远镜”提高了近100倍。相比仅具备有限近红外探测能力的“哈勃空间望远镜”,JWST更擅长收集红外光,且主镜镜面口径达6.5 m,集光面积比“哈勃空间望远镜”增加了约7倍,可收集比“哈勃空间望远镜”更多的光,观测到更加微弱和更远的目标(图9、图10)。

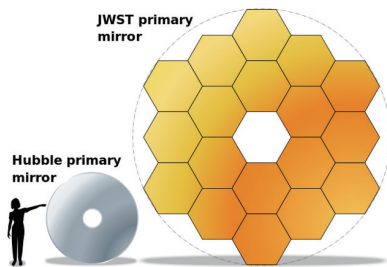


图9 HST与JWST的主镜比较  
(图片来源:NASA)

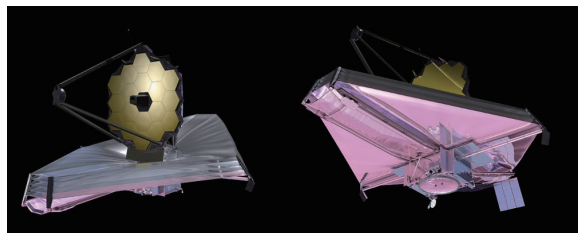


图10 JWST的顶部(左图)和底部(右图)示意  
(图片来源:NASA)

2) 美国成功发射“X射线偏振成像探索者”任务。2021年12月,NASA首个X射线偏振任务“X射线偏振成像探索者”(IXPE)任务成功发射升空<sup>[85]</sup>,旨在观测超新星遗迹、超大质量黑洞等宇宙中最极端的天体。

3) 美国成功发射2颗立方体卫星研究磁重联和系外行星。2021年9月, NASA成功发射“极尖区等离子成像检测器”(CuPID)和“科罗拉多紫外凌星实验”(CUTE)2颗立方体卫星, 用于研究磁重联现象和系外行星<sup>[86-87]</sup>。

4) 美国成功发射太阳高能粒子起源实验“紫外光谱日冕探路者”。2021年12月, NASA成功发射“紫外光谱日冕探路者”(UVSC Pathfinder)任务, 旨在观测日冕的最深部, 以帮助更好地理解 and 预测太阳高能粒子事件<sup>[88]</sup>。

5) 美国成功发射小行星探测任务“露西”和“双小行星重定向测试”任务。NASA的“露西”(Lucy)小行星探测任务成功发射升空, 将在未来12年探测一颗主带小行星和7颗特洛伊族小行星<sup>[89]</sup>。NASA“双小行星重定向测试”(DART)航天器成功发射, 将主动碰撞一颗对地球不构成威胁的小行星以改变其速度和路径, 在世界上首次专门验证动能撞击行星防御技术<sup>[90]</sup>。

6) 中国成功发射首颗太阳探测科学技术试验卫星“羲和号”。2021年10月, 中国成功发射首颗太阳探测科学技术试验卫星“羲和号”, 将实现国际首次太阳H $\alpha$ 波段光谱成像的空间探测, 填补太阳爆发源区高质量观测数据的空白, 为解决“太阳爆发由里及表能量传输全过程物理模型”等科学问题提供重要支撑<sup>[91]</sup>, 标志着中国已正式步入“探日”时代。

7) 中国成功发射“可持续发展科学卫星1号”(SDGSAT-1)。中国于2021年11月发射世界首颗可持续发展目标监测卫星——“可持续发展科学卫星1号”, 专门服务联合国2030年可持续发展议程, 精细刻画“人类活动痕迹”, 同年12月20日首批影像发布<sup>[92]</sup>。

### 3.2 新遴选的未来空间科学任务

1) 空间天文学未来新任务。NASA遴选出天体物理学小型探索者任务“康普顿光谱仪和成像仪”(COSI), 拟通过伽马线观测揭示银河系中恒星诞生、死亡和化学元素形成的历史, 绘制银河系演化图, 任务计划于2025年发射升空<sup>[93]</sup>。NASA为新

设立的“先驱者”(Pioneers)计划遴选出4个小型天体物理学任务概念, 拟利用小卫星和科学气球研究星系演化、系外行星、高能中微子和中子星并合等宇宙现象, 每项任务成本上限为2000万美元<sup>[94]</sup>。

2) 太阳系探测未来新任务。NASA正式批准“发现”计划(Discovery)旗下的“金星惰性气体、化学成分和图像的大气层深度调查+”/“达芬奇+”(DAVINCI+)和“金星发射率、射电科学、干涉合成孔径雷达、地形和光谱学”/“真理号”(VERITAS)2项金星探测任务<sup>[95]</sup>, 每项任务获得5亿美元的资助, 有望在2028—2030年择机发射。ESA批准“想象号”(EnVision)金星探测任务作为“宇宙憧憬”计划(Cosmic Vision)的第5个中型任务, 计划于2030年代初发射<sup>[96]</sup>。3项任务将对金星开展合作研究。美国、意大利、加拿大和日本4国确定将共同开发“火星冰测绘”(Mars Ice Mapper)轨道器任务, 计划最早于2026年发射, 旨在识别火星表面冰资源丰富且易于到达的地点, 作为火星任务候选着陆点<sup>[97]</sup>。阿联酋航天局宣布启动一项新的行星际任务, 航天器计划于2028年发射, 首先环绕金星运行, 随后探索火星和木星之间的小行星带<sup>[98]</sup>。

3) 空间地球科学未来新任务。NASA为地球风险计划遴选了“对流上升气流调查”(INCUS)任务, 旨在研究热带风暴和雷暴行为。NASA还计划实施由一系列卫星组成的“地球系统天文台”(Earth System Observatory)任务, 绘制从地球基岩到大气的三维整体视图, 为有关地球气候变化、减灾、森林灭火和优化实时农业过程等工作提供关键信息。ESA在欧洲遥感卫星发射30周年之际为“地球探索者”计划遴选第10项任务——“和谐”(Harmony), 旨在解决海洋、冰和陆地变化相关的重要科学问题<sup>[99-100]</sup>, 并为第11项任务遴选了4个任务概念: “大气变化红外断层成像”(Cairt)、Nitrosa、“风速雷达测云器”(Wivern)和Seastar。作为补充, ESA还确定了第二项“侦查”任务——HydroGNSS卫星, 旨在利用全球导航卫星系统反射技术, 测量关键水文气候变量, 包括土壤湿度、多年冻土、永久冻土层的冻融状态、洪水和湿地以及地上生物物质<sup>[101]</sup>。

## 4 结论

回顾 2021 年,世界空间科学领域继续取得系列重要进展,“雨燕伽马射线暴”等首次观测到潮汐破坏事件中发射的高能中微子、为高能中微子与系外天体之间存在关联提供首批观测证据,“斯皮策空间望远镜”在银河系人马臂上发现复杂的精细结构,“帕克太阳探测器”成为首个进入日冕的探测器并证实太阳风内部的磁性锯齿状结构起源于太阳光球层,“嫦娥五号”月球样品分析结果深化了人们对月球的认知,“洞察号”详解火星内部结构,阿联酋、中国、美国探测器齐聚火星加速火星探索进程,“朱诺号”首次实现对木星大气的三维观测并揭示木星晨暴起源和 X 射线极光成因,“贝皮-科伦坡”首次飞越水星并探测水星周围的磁场和粒子环境,空间站微重力平台助力人体研究、生物技术、空间物理、地对地观测、燃烧科学等更多科学发现。未来源源不断的革命性的新发现将继续激励人类不断拓展对宇宙和自身的认知,创造更美好的生活。

美国和欧洲未来 10 年乃至更远期空间科学规划和优先科学主题基本确定,系外行星探秘、新物理学探测、宇宙系统研究等备受关注,大型红外/光学/紫外空间望远镜等旗舰计划和中小型任务组合、技术开发计划等奠定未来空间科学发展基调,“阿尔忒弥斯”载人月球探索计划科学目标业已明确,气候变化相关科学研究成为合作重点议题,中国和俄罗斯牵头倡导国际月球科研站合作与发展,未来空间站形态和组织模式在探索与竞争合作中仍存变数。

“詹姆斯·韦伯空间望远镜”、“科罗拉多紫外凌星实验”立方体卫星、“紫外光谱日冕探路者”立方体卫星、小行星探测任务“露西”、“可持续发展科学卫星 1 号”等一批新平台成功发射,有望在探秘宇宙、解析太阳系、精细刻画人类活动痕迹等方面率先取得突破。最新遴选的伽马线天文台、金星探测、火星冰测绘、地球探索等空间科学任务将为推动空间天文研究、拓展太阳系探测、认知地球系统作出新贡献。未来空间科学领域将呈现更加激动人心的光明前景。

## 参考文献 (References)

- [1] 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.
- [2] NASA. NASA's Swift helps tie neutrino to star-shredding black hole[EB/OL]. (2021-02-23) [2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2021/nasa-s-swift-helps-tie-neutrino-to-star-shredding-black-hole>.
- [3] Stein R, van Velzen S, Kowalski M, et al. A tidal disruption event coincident with a high-energy neutrino[J]. *Nature Astronomy*, 2021(5): 510-518.
- [4] Winter W, Lunardini C. A concordance scenario for the observed neutrino from a tidal disruption event[J]. *Nature Astronomy*, 2021(5): 472-477.
- [5] 中国科学院国家空间科学中心. “悟空”号暗物质粒子探测卫星伽马光子科学数据正式公开发布[EB/OL]. (2021-09-07) [2021-12-31]. [http://www.nssc.ac.cn/xwtd2015/xwsd2015/202109/t20210907\\_6194609.html](http://www.nssc.ac.cn/xwtd2015/xwsd2015/202109/t20210907_6194609.html).
- [6] NASA. Gigantic jet spied from black hole in early universe[EB/OL]. (2021-03-09) [2021-12-31]. [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/chandra/images/gigantic-jet-spied-from-black-hole-in-early-universe.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/chandra/images/gigantic-jet-spied-from-black-hole-in-early-universe.html).
- [7] Connor T, Bañados E, Stern D, et al. Enhanced X-ray emission from the most radio-powerful quasar in the universe's first billion years[J]. *The Astrophysical Journal*, 2021, 911(2): 120.
- [8] Роскосмос. Два года работы обсерватории «Спектр-РГ»[EB/OL]. (2021-07-13) [2021-12-31]. <https://www.ros-cosmos.ru/31841>.
- [9] Conroy C, Naidu R P, Garavito-Camargo N, et al. All-sky dynamical response of the Galactic halo to the Large Magellanic Cloud[J]. *Nature*, 2021, 592(7855): 534-536.
- [10] NASA. Astronomers find a 'break' in one of the Milky Way's spiral arms[EB/OL]. (2021-08-17) [2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/feature/jpl/astronomers-find-a-break-in-one-of-the-milky-way-s-spiral-arms>.
- [11] Kuhn M A, Benjamin R A, Zucker C, et al. A high pitch angle structure in the Sagittarius Arm[J]. *Astronomy & Astrophysics*, 2021(651): L10.
- [12] NASA. NASA's TESS discovers stellar siblings host 'teenage' exoplanets[EB/OL]. (2021-07-12) [2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2021/nasa-s-tesse-discovers-stellar-siblings-host-teenage-exoplanets>.
- [13] Hedges C, Hughes A, Giacalone S, et al. TOI-2076 and TOI-1807: Two young, comoving planetary systems with-

- in 50 pc identified by TESS that are ideal candidates for further follow up[J]. *The Astronomical Journal*, 2021, 162(2): 54.
- [14] NASA. NASA enters the solar atmosphere for the first time, bringing new discoveries[EB/OL]. (2021-12-15) [2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2021/nasa-enters-the-solar-atmosphere-for-the-first-time-bringing-new-discoveries>.
- [15] 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(25): 255101.
- [16] Ruffolo D, Ngampoopun N, Bhora Y R, et al. Domains of magnetic pressure balance in Parker Solar Probe observations of the solar wind[J]. *The Astrophysical Journal*, 2021, 923(2): 158.
- [17] ESA. Solar Orbiter publishes a wealth of science results from its cruise phase[EB/OL]. (2021-12-14) [2021-12-31]. [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Solar\\_Orbiter/Solar\\_Orbiter\\_publishes\\_a\\_wealth\\_of\\_science\\_results\\_from\\_its\\_cruise\\_phase](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Solar_Orbiter/Solar_Orbiter_publishes_a_wealth_of_science_results_from_its_cruise_phase).
- [18] Astronomy & Astrophysics. Solar Orbiter first results (cruise phase)[EB/OL]. [2021-12-31]. <https://www.aanda.org/component/toc/?task=topic&id=1340>.
- [19] Uritsky V M, Deforest C E, Karpen J T, et al. Plumelets: Dynamic filamentary structures in solar coronal plumes [J]. *The Astrophysical Journal*, 2021, 907(1): 1.
- [20] 中国科学院国家空间科学中心. 中国科学院空间科学先导专项集中发布一批重大科学成果[EB/OL]. (2021-07-21) [2021-12-31]. [http://www.nssc.ac.cn/xwdt2015/xwsd2015/202107/t20210721\\_6143648.html](http://www.nssc.ac.cn/xwdt2015/xwsd2015/202107/t20210721_6143648.html).
- [21] 20 亿年前玄武岩进一步揭示月球演化奥秘[EB/OL]. (2021-10-19) [2021-12-31]. [https://www.cas.cn/zt/kjzt/cewhcg/ky/202110/t20211020\\_4810376.shtml](https://www.cas.cn/zt/kjzt/cewhcg/ky/202110/t20211020_4810376.shtml).
- [22] CNN. The UAE's Hope Probe has successfully entered orbit around Mars[EB/OL]. (2021-02-09) [2021-12-31]. <https://edition.cnn.com/2021/02/09/world/uae-hope-probe-mars-mission-orbit-scen-trnd/index.html>.
- [23] 国家航天局举办新闻发布会 介绍我国首次火星探测任务情况[EB/OL]. (2021-06-12) [2021-12-31]. [http://www.gov.cn/xinwen/2021-06/12/content\\_5617394.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2021-06/12/content_5617394.htm).
- [24] Nature's 10: Ten people who helped shape science in 2021[EB/OL]. (2021-12-15) [2021-12-31]. <https://www.nature.com/immersive/d41586-021-03621-0/index.html>.
- [25] NASA. Touchdown! NASA's Mars Perseverance rover safely lands on Red Planet[EB/OL]. (2021-02-19) [2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/press-release/touch-down-nasas-mars-perseverance-rover-safely-lands-on-red-planet>.
- [26] NASA. NASA's Ingenuity Mars helicopter succeeds in historic first flight[EB/OL]. (2021-04-19) [2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-s-ingenuity-mars-helicopter-succeeds-in-historic-first-flight>.
- [27] NASA. NASA's Perseverance Mars rover extracts first oxygen from Red Planet[EB/OL]. (2021-04-22) [2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-s-perseverance-mars-rover-extracts-first-oxygen-from-red-planet>.
- [28] NASA. NASA's Perseverance rover collects first mars rock sample[EB/OL]. (2021-09-07) [2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-s-perseverance-rover-collects-first-mars-rock-sample>.
- [29] Knapmeyer-Endrun B, Panning M P, Bissig F, et al. Thickness and structure of the martian crust from InSight seismic data[J]. *Science*, 2021, 373(6553): 438-443.
- [30] Khan A, Ceylan S, van Driel M, et al. Upper mantle structure of Mars from InSight seismic data[J]. *Science*, 2021, 373(6553): 434-438.
- [31] Stähler S C, Khan A, Banerdt W B, et al. Seismic detection of the martian core[J]. *Science*, 2021, 373(6553): 443-448.
- [32] Science. 2021 breakthrough of the year[EB/OL]. (2021-12-16) [2021-12-31]. <https://www.science.org/content/article/breakthrough-2021>.
- [33] NASA. NASA extends exploration for two planetary science missions[EB/OL]. (2021-01-08) [2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/feature/nasa-extends-exploration-for-two-planetary-science-missions>.
- [34] Lewis J M T, Eigenbrode J L, Wong G M, et al. Pyrolysis of oxalate, acetate, and perchlorate mixtures and the implications for organic salts on Mars[J]. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 2021, 126(4): e2020JE006803.
- [35] Lefèvre F, Trokhimovskiy A, Fedorova A, et al. Relationship between the ozone and water vapor columns on Mars as observed by SPICAM and calculated by a global climate model[J]. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 2021, 4(126): e2021JE006838.
- [36] NASA. NASA's Juno reveals dark origins of one of Jupiter's grand light shows[EB/OL]. (2021-03-16) [2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/feature/jpl/nasa-s-juno-reveals-dark-origins-of-one-of-jupiter-s-grand-light-sh>

- ows.
- [37] ESA. The mystery of what causes Jupiter's X-ray auro-  
ras is solved[EB/OL]. (2021-07-09) [2021-12-31].  
[https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/  
The\\_mystery\\_of\\_what\\_causes\\_Jupiter\\_s\\_X-ray\\_auroas\\_is  
\\_solved](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/The_mystery_of_what_causes_Jupiter_s_X-ray_auroas_is_solved).
- [38] NASA. NASA's Juno: Science results offer first 3D view  
of Jupiter atmosphere[EB/OL]. (2021-10-29) [2021-12-  
31]. [https://www.nasa.gov/press-release/nasa-s-juno-science-  
results-offer-first-3d-view-of-jupiter-atmosphere](https://www.nasa.gov/press-release/nasa-s-juno-science-results-offer-first-3d-view-of-jupiter-atmosphere).
- [39] ESA. BepiColombo's first tastes of Mercury science[EB/  
OL]. (2021-10-15) [2021-12-31]. [https://www.esa.int/  
Science\\_Exploration/Space\\_Science/BepiColombo/BepiCo-  
lombo\\_s\\_first\\_tastes\\_of\\_Mercury\\_science](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/BepiColombo/BepiCo-lombo_s_first_tastes_of_Mercury_science).
- [40] Fukuya K, Imamura T, Taguchi M, et al. The nightside  
cloud-top circulation of the atmosphere of Venus[J]. *Nature*, 2021, 595(7868): 511-515.
- [41] Zhu M H, Morbidelli A, Neumann W, et al. Common  
feedstocks of late accretion for the terrestrial planets[J].  
*Nature Astronomy*, 2021(5): 1286-1296.
- [42] NASA. NASA's OSIRIS-REx spacecraft heads for earth  
with asteroid sample[EB/OL]. (2021-05-11) [2021-12-  
31]. [https://www.nasa.gov/press-release/nasa-s-osiris-  
rex-spacecraft-heads-for-earth-with-asteroid-sample](https://www.nasa.gov/press-release/nasa-s-osiris-rex-spacecraft-heads-for-earth-with-asteroid-sample).
- [43] NASA. NASA's New Horizons reaches a rare space mile-  
stone[EB/OL]. (2021-04-16) [2021-12-31]. [https://www.  
nasa.gov/feature/nasa-s-new-horizons-reaches-a-rare-s-  
pace-milestone](https://www.nasa.gov/feature/nasa-s-new-horizons-reaches-a-rare-s-pace-milestone).
- [44] NASA. Satellites show how Earth's water cycle is ramp-  
ing up as climate warms[EB/OL]. (2021-05-28) [2021-  
12-31]. [https://www.nasa.gov/feature/jpl/satellites-show-  
how-earth-s-water-cycle-is-ramping-up-as-climate-w-  
arms](https://www.nasa.gov/feature/jpl/satellites-show-how-earth-s-water-cycle-is-ramping-up-as-climate-w-arms).
- [45] NASA. Twin spacecraft launch to track Earth's water  
movement[EB/OL]. (2018-05-23) [2021-12-31]. [https://  
www.nasa.gov/press-release/twin-spacecraft-launch-to-  
track-earth-s-water-movement](https://www.nasa.gov/press-release/twin-spacecraft-launch-to-track-earth-s-water-movement).
- [46] NASA. GRACE-FO mission overview[EB/OL]. [2021-  
12-31]. <https://www.nasa.gov/missions/grace-fo/overview>.
- [47] NASA. What we learned from the space station this past  
year[EB/OL]. (2021-12-22) [2021-12-31]. [https://www.  
nasa.gov/mission\\_pages/station/research/news/what-we-  
learned-from-iss-2021](https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/what-we-learned-from-iss-2021).
- [48] 中国航天科技集团有限公司, 中国科学院. 中国成功  
发射天和核心舱[J]. *空间科学学报*, 2021, 41(4): 522.
- [49] 中国载人航天工程办公室与联合国外空司发布联合  
国/中国围绕中国空间站开展空间科学实验第一批入选  
项目[EB/OL]. (2019-06-12) [2021-12-31]. [http://www.  
cmse.gov.cn/art/2019/6/12/art\\_22\\_33157.html](http://www.cmse.gov.cn/art/2019/6/12/art_22_33157.html).
- [50] 天舟二号货运飞船发射任务取得圆满成功[EB/OL].  
(2021-05-29) [2021-12-31]. [http://www.cmse.gov.cn/xw-  
zx/zxhw/202105/t20210529\\_48010.html](http://www.cmse.gov.cn/xw-zx/zxhw/202105/t20210529_48010.html).
- [51] 天舟三号货运飞船发射任务取得圆满成功, 我国载人  
航天工程发射任务取得20战20捷[EB/OL]. (2021-09-  
20) [2021-12-31]. [http://www.cmse.gov.cn/xwzx/zxhw/  
202109/t20210920\\_48756.html](http://www.cmse.gov.cn/xwzx/zxhw/202109/t20210920_48756.html).
- [52] 天舟三号货运飞船与空间站组合体完成自主快速交会  
对接[EB/OL]. (2021-09-20) [2021-12-31]. [http://www.  
cmse.gov.cn/xwzx/zxhw/202109/t20210921\\_48762.html](http://www.cmse.gov.cn/xwzx/zxhw/202109/t20210921_48762.html).
- [53] 神舟十二号载人飞船发射圆满成功[EB/OL]. (2021-06-  
17) [2021-12-31]. [http://www.cmse.gov.cn/xwzx/yzjz/  
202106/t20210616\\_48135.html](http://www.cmse.gov.cn/xwzx/yzjz/202106/t20210616_48135.html).
- [54] 神舟十三号载人飞船发射取得圆满成功[EB/OL].  
(2021-10-16) [2021-12-31]. [http://www.cmse.gov.cn/xw-  
zx/zxhw/202110/t20211016\\_48891.html](http://www.cmse.gov.cn/xw-zx/zxhw/202110/t20211016_48891.html).
- [55] 神舟十二号航天员乘组圆满完成第二次出舱活动全部  
既定任务[EB/OL]. (2021-08-20) [2021-12-31]. [http://  
www.cmse.gov.cn/xwzx/yzjz/202108/t20210821\\_48593.ht-  
ml](http://www.cmse.gov.cn/xwzx/yzjz/202108/t20210821_48593.html).
- [56] 神舟十三号航天员乘组圆满完成首次出舱活动全部既  
定任务[EB/OL]. (2021-11-08) [2021-12-31]. [http://www.  
cmse.gov.cn/xwzx/zxhw/202111/t20211108\\_49033.html](http://www.cmse.gov.cn/xwzx/zxhw/202111/t20211108_49033.html).
- [57] 中国空间站首批在轨科学实验样品交接仪式在京举行  
[EB/OL]. (2021-10-22) [2021-12-31]. [http://www.cmse.  
gov.cn/xwzx/zxhw/202110/t20211027\\_48969.html](http://www.cmse.gov.cn/xwzx/zxhw/202110/t20211027_48969.html).
- [58] 中国空间站首次太空授课活动取得圆满成功[EB/OL].  
(2021-12-09) [2021-12-31]. [http://www.cmse.gov.cn/xw-  
zx/zxhw/202112/t20211209\\_49179.html](http://www.cmse.gov.cn/xw-zx/zxhw/202112/t20211209_49179.html).
- [59] Executive order on the national space council[EB/OL].  
(2021-12-01) [2021-12-31]. [https://www.whitehouse.gov/  
briefing-room/statements-releases/2021/12/01/executive-  
order-on-the-national-space-council/](https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/12/01/executive-order-on-the-national-space-council/).
- [60] United States space priorities framework[EB/OL]. (2021-  
12-01) [2021-12-31]. [https://www.whitehouse.gov/wp-  
content/uploads/2021/12/United-States-Space-Priorities-  
Framework--December-1-2021.pdf](https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/12/United-States-Space-Priorities-Framework--December-1-2021.pdf).
- [61] National strategy for planetary protection[EB/OL]. (2020-  
12-01) [2021-12-31]. [https://aerospace.org/sites/default/  
files/2021-01/Planetary%20Protection%20Strategy%2030-  
Dec20.pdf](https://aerospace.org/sites/default/files/2021-01/Planetary%20Protection%20Strategy%2030-Dec20.pdf).
- [62] Memorandum on space policy directive 7[EB/OL]. (2021-  
01-15) [2021-12-31]. <https://trumpwhitehouse.archives>.

- gov/presidential-actions/memorandum-space-policy-directive-7.
- [63] NASA. Climate action plan[EB/OL]. (2020-09-01) [2021-12-31]. <https://www.sustainability.gov/pdfs/nasa-2021-cap.pdf>.
- [64] New report charts path for next decade of astronomy and astrophysics; recommends future ground and space telescopes, scientific priorities, investments in scientific community[EB/OL]. (2020-11-04) [2021-12-31]. <https://www.nationalacademies.org/news/2021/11/new-report-charts-path-for-next-decade-of-astronomy-and-astrophysics-recommends-future-ground-and-space-telescopes-scientific-priorities-investments-in-scientific-community>.
- [65] Pathways to discovery in astronomy and astrophysics for the 2020s[EB/OL]. [2021-12-31]. <https://www.nap.edu/catalog/26141/pathways-to-discovery-in-astronomy-and-astrophysics-for-the-2020s>.
- [66] NASA. Artemis III science definition team report[EB/OL]. (2020-12-04) [2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/artemis-iii-science-definition-report-12042020c.pdf>.
- [67] European Commission. EU SPACE launch: Summary and replay[EB/OL]. (2021-06-24)[2021-12-31]. [https://ec.europa.eu/defence-industry-space/eu-space-launch-summary-and-replay-2021-06-24\\_en](https://ec.europa.eu/defence-industry-space/eu-space-launch-summary-and-replay-2021-06-24_en).
- [68] ESA agenda 2025 executive summary[EB/OL]. (2021-12-27) [2021-12-31]. [https://esamultimedia.esa.int/docs/ESA\\_Agenda\\_2025\\_Executive\\_Summary.pdf](https://esamultimedia.esa.int/docs/ESA_Agenda_2025_Executive_Summary.pdf).
- [69] ESA. N° 39-2021: Decisions from the Intermediate Ministerial Meeting 2021[EB/OL]. (2021-11-19) [2021-12-31]. [https://www.esa.int/Newsroom/Press\\_Releases/Decisions\\_from\\_the\\_Intermediate\\_Ministerial\\_Meeting\\_2021](https://www.esa.int/Newsroom/Press_Releases/Decisions_from_the_Intermediate_Ministerial_Meeting_2021).
- [70] ESA. Voyage 2050 sets sail: ESA chooses future science mission themes[EB/OL]. (2021-06-11) [2021-12-31]. [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Voyage\\_2050\\_sets\\_sail\\_ESA\\_chooses\\_future\\_scince\\_mission\\_themes](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Voyage_2050_sets_sail_ESA_chooses_future_scince_mission_themes).
- [71] Президент России. Совещание о долгосрочных приоритетах развития космической деятельности[EB/OL]. (2021-04-12) [2021-12-31]. <http://www.kremlin.ru/events/president/news/65348>.
- [72] Смотрим. Россия создаст свою национальную космическую станцию[EB/OL]. (2021-04-18) [2021-12-31]. <https://smotrim.ru/article/2552166>.
- [73] Роскосмос. Выступление Дмитрия Рогозина на общем собрании РАН[EB/OL]. (2021-04-21) [2021-12-31]. <https://www.roscosmos.ru/30832>.
- [74] 俄罗斯卫星通讯社. 俄罗斯新轨道站的科学设备将放置在外部[EB/OL]. (2021-04-21) [2021-12-31]. <http://sputniknews.cn/science/202104211033535456>.
- [75] Роскосмос. Роскосмос показал первый модуль новой орбитальной станции[EB/OL]. (2021-04-23) [2021-12-31]. <https://www.roscosmos.ru/30858>.
- [76] Роскосмос. Россия запустит собственный орбитальный космопорт[EB/OL]. (2021-08-27)[2021-12-31]. <https://www.roscosmos.ru/32343>.
- [77] Роскосмос. НТС Роскосмоса и Бюро Совета РАН рекомендовали представить в Кабмин предложения о создании РОСС[EB/OL]. (2021-09-21) [2021-12-31]. <https://www.roscosmos.ru/32672>.
- [78] ТАСС. В Роскосмосе заявили, что решение о работе на МКС будет приниматься после 2024 года[EB/OL]. (2021-04-18) [2021-09-21]. <https://tass.ru/kosmos/11180935>.
- [79] 国家航天局. 中俄两国签署合作建设国际月球科研站谅解备忘录[EB/OL]. (2021-03-09) [2021-12-31]. <http://www.cnsa.gov.cn/n6759533/c6811381/content.html>.
- [80] 国家航天局. 国际月球科研站合作伙伴指南[EB/OL]. (2021-06-16) [2021-12-31]. <http://www.cnsa.gov.cn/n6758823/n6758839/c6812148/content.html>.
- [81] ESA. ESA and NASA join forces to understand climate change[EB/OL]. (2021-07-13) [2021-12-31]. [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/ESA\\_and\\_NASA\\_join\\_forces\\_to\\_understand\\_climate\\_change](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/ESA_and_NASA_join_forces_to_understand_climate_change).
- [82] 国家航天局. 金砖国家航天机构签署遥感卫星数据共享合作协定[EB/OL]. (2021-08-19)[2021-12-31]. <http://www.cnsa.gov.cn/n6758823/n6758838/c6812394/content.html>.
- [83] Роскосмос. Руководители космических агентств БРИКС подписали соглашение о сотрудничестве в области обмена данными ДЗЗ[EB/OL]. (2021-08-18) [2021-12-31]. <https://www.roscosmos.ru/32228>.
- [84] NASA. NASA's Webb Telescope launches to see first galaxies, distant worlds[EB/OL]. (2021-12-25) [2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/press-release/nasas-webb-telescope-launches-to-see-first-galaxies-distant-worlds>.
- [85] NASA. NASA launches new mission to explore universe's most dramatic objects[EB/OL]. (2021-12-09) [2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-launches-new-mission-to-explore-universe-s-most-dr>

- amatic-objects.
- [86] NASA. Small satellite, big questions: CuPID cubesat will get new perspective on sun-earth boundary[EB/OL]. (2021-09-10) [2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2021/small-satellite-big-questions-cupid-cubesat-will-get-new-perspective-on-sun-earth-boundary>.
- [87] NASA. Tiny satellites will address sizeable questions in space science[EB/OL]. (2021-09-25) [2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2021/tiny-satellites-will-address-sizeable-questions-in-space-science>.
- [88] NASA. Pathfinding experiment to study origins of solar energetic particles[EB/OL]. (2021-10-25)[2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2021/uvsc-pathfinding-experiment-study-origins-of-solar-energetic-particles>.
- [89] NASA. NASA, ULA launch Lucy mission to 'Fossils' of planet formation [EB/OL]. (2021-10-16) [2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-ula-launch-lucy-mission-to-fossils-of-planet-formation>.
- [90] NASA. NASA, SpaceX launch DART: First test mission to defend planet earth[EB/OL]. (2021-11-24)[2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-spacex-launch-dart-first-test-mission-to-defend-planet-earth>.
- [91] 我国首颗太阳探测科学技术试验卫星“羲和号”成功发射 [EB/OL]. (2021-10-14) [2021-12-31]. <http://www.cnsa.gov.cn/n6758823/n6758838/c6812709/content.html>.
- [92] 韩扬眉, 秦志伟. 我国成功发射可持续发展科学卫星 [EB/OL]. (2021-11-05) [2021-12-31]. [https://www.cas.cn/cm/202111/t20211105\\_4812798.shtml](https://www.cas.cn/cm/202111/t20211105_4812798.shtml).
- [93] NASA selects gamma-ray telescope to chart Milky Way evolution[EB/OL]. (2021-10-19) [2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-selects-gamma-ray-telescope-to-chart-milky-way-evolution>.
- [94] NASA Selects 4 concepts for small missions to study universe's secrets[EB/OL]. (2021-01-08) [2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/feature/nasa-selects-4-concepts-for-small-missions-to-study-universe-s-secrets>.
- [95] NASA selects 2 missions to study 'lost habitable' world of Venus[EB/OL]. (2021-06-03) [2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-selects-2-missions-to-study-lost-habitable-world-of-venus>.
- [96] ESA. ESA selects revolutionary Venus mission EnVision [EB/OL]. (2021-06-10) [2021-12-31]. [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/ESA\\_selects\\_revolutionary\\_Venus\\_mission\\_EnVision](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/ESA_selects_revolutionary_Venus_mission_EnVision).
- [97] NASA. NASA, international partners assess mission to map ice on Mars, guide science priorities[EB/OL]. (2021-02-03) [2021-12-31]. <https://www.nasa.gov/feature/nasa-international-partners-assess-mission-to-map-ice-on-mars-guide-science-priorities>.
- [98] UAE. Emirati interplanetary mission 2028[EB/OL]. (2021-10-14) [2021-12-31]. <https://u.ae/en/about-the-uae/initiatives-of-the-next-50/projects-of-the-50/emirati-interplanetary-mission-2028>.
- [99] ESA. Harmony[EB/OL]. (2021-02-23) [2021-12-31]. [http://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2021/02/Harmony](http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2021/02/Harmony).
- [100] ESA. ESA moves forward with Harmony[EB/OL]. (2021-02-23) [2021-12-31]. [http://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/ESA\\_moves\\_forward\\_with\\_Harmony](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/ESA_moves_forward_with_Harmony).
- [101] ESA. Second Scout gets the go-ahead[EB/OL]. (2021-03-30) [2021-12-31]. [http://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Second\\_Scout\\_gets\\_the\\_go-ahead](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Second_Scout_gets_the_go-ahead).

## NASA's probe first enters solar atmosphere ——A review of hot topics of space science in 2021

WANG Chi<sup>1,2</sup>, YANG Fan<sup>3</sup>, HAN Lin<sup>3</sup>, WANG Haiming<sup>3</sup>, FAN Weiwei<sup>3</sup>, ZHANG Feng<sup>2,3\*</sup>

1. National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China
3. Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

**Abstract** This paper reviews the important research progress, major strategic adjustments of the US, Europe, Russia, China, and other regional organizations, and newly launched and selected space science missions in 2021. The contents include Parker Solar Probe flew through the corona for the first time, InSight lander revealed the interior structure of Mars, spacecraft of the UAE, China, and US gathered on Mars, scientific researches of ISS attracted continuous attentions, US released new development roadmap for next decade of astronomy and astrophysics, ESA chose future large-class scientific mission themes for 2035–2050, China and Russia revealed roadmap for international moon base, JWST was successfully launched, China successfully launched solar exploration science and technology test satellite "Xihe" and sustainable development satellite SDGSAT-1, and NASA and ESA approved new missions to study Venus.

**Keywords** space science; 2021 research front; development strategy; space science mission ●



(责任编辑 王志敏)