

# 我国首颗太阳探测卫星“羲和号”公布首批成果,创下五个“国际首次”

## 群雄逐日,“中国女神”开启自主探日时代



升空近一年,我国首颗太阳探测科学技术试验卫星“羲和号”日前发布首批成果。这批太阳科学探测和新型卫星技术成果中包含了五个“国际首次”,标志着我国正式步入自主探日时代。

作为太阳系的主宰恒星,太阳对地球演化与人类发展举足轻重。近六十年来,人类共发射了70多颗与太阳探测相关的卫星,未来五年还将至少发射5颗卫星。以“羲和号”为起点,中国也将构建起天地协同、优势互补的太阳观测体系。

——编者

“羲和号探日”艺术想象图

■本报记者 许琦敏

自2021年10月14日发射升空,我国首颗太阳探测科学技术试验卫星“羲和号”在轨不到一年时间,已获得大量太阳探测数据。这位“太阳专属摄影师”能够在短短46秒内获得全日面约1600万个点上的光谱,在300余个波长点上同时获得色球层和光球层的二维图像。

2021年10月24日,“羲和号”开启了其初光观测。迄今为止,它已在空间首次同时获得了太阳全日面H $\alpha$ 谱线、Si I谱线和Fe I谱线的精细结构和光谱成像,以及上百个太阳爆发活动的资料。

今年,我国还将发射先进天基太阳天文台卫星,开启“双星逐日”之旅。未来,两颗探日卫星将各有侧重、相互补充,获得的数据向全球开放共享,中国在世界太阳物理研究领域的影响力将不断增强。

### 从地面到空间,太阳探测 关乎人类发展

太阳是太阳系中最大的天体,距离地球约1.5亿公里(一个天文单位),是离地球最近、与人类关系最密切的恒星,也是地球的生命之源。地球上的万物生长,乃至人类的生产生活都离不开太阳。

大约46亿年前,距离银河系中心约2.6万光年处的一团星云,在自身引力作用下坍塌凝聚,形成了太阳。太阳的寿命约为100亿年,目前正处于壮年期,其直径139万公里,是地球的107倍,质量达2000亿亿吨,是地球的33万倍,整个太阳系总质量的99.87%都集中在这颗恒星身上。

南京大学天文与空间科学学院教授、“羲和号”科学与应用系统总设计师李川告诉记者,虽然银河系中的恒星数量多达千亿,但它们距离地球太过遥远,人类始终只能看到一个亮点。但同时,“太阳是我们唯一能够分辨出更小尺度结构的恒星”,对于天文学家来说,太阳是一块极佳的跳板,“从太阳出发,我们可以试图理解其他恒星的活动,并进一步推演整个宇宙的演化”。

人类对太阳的观测由来已久,广义的观测最早可以追溯到上古时代。我国早在汉成帝河平元年(公元前28年)就有对太阳黑子肉眼观测的记载:“日出黄,有黑气,大如钱,居日中央。”1610年,也就是伽利略发明天文望远镜后的第二年,人类开始用望远镜观测和记录太阳黑子,开启了太阳的科学观测时代。1868年,法国天文学家皮埃尔·詹森在印度对日全食的光谱进行观测时,首次发现了氦元素。

自上世纪50年代末进入太空时代以来,通过地基太阳望远镜和天基太阳探测器的联合观测,人类对太阳有了全新认识。原来,太阳的内部结构可分为核心区、辐射层和对流层,太阳的大气层可分为光球层、色球层、过渡区和日冕层。人类也在一定程度上理解了太阳活动的周期性、产生太阳磁场的发电理论、太阳磁场和太阳爆发的内在联系等。

太阳对地球的演化至关重要,对地球的影响也无所不在。太阳爆发产生的大量带电高能粒子,对地球电磁环境造成严重破坏,其中尤以太阳耀斑和日冕物质抛射影响最为显著——强耀斑和日冕物质抛射等太阳活动会干扰通信和导航,威胁航天员的健康,甚至破坏航天器。因此,对太阳活动的观测和研究

不仅具有重要的科学意义,更具有巨大的应用价值。

太阳活动周期约为11年,当前正是第25个太阳活动周期的上升阶段,全球进入太阳研究新的高峰期。李川说,“羲和号”的设计寿命为三年,正好可覆盖这一时期,“未来,太阳再‘打喷嚏’,我们就能尽可能地精确预报,及时规避对地球的不利影响”。

### 为太阳做精细CT,“羲和号”创下国际首次

“羲和号”取名于中国远古神话中的太阳女神。早在2015年,中国科学院院士、南京大学天文与空间科学学院教授方成就提出了“羲和号”卫星的研制计划。经过数年论证,2019年“羲和号”获得国家航天局的批复立项。此后两年,由上海航天技术研究院抓总,南京大学与中科院长春光机所等单位共同完成了卫星的研制。

2021年10月14日,“羲和号”由长征二号丁运载火箭发射升空,运行在高度为517公里的太阳同步轨道上。10天后,它第一次观测太阳,就在国际上首次实现了太阳H $\alpha$ 波段光谱成像的空间观测。

太阳H $\alpha$ 谱线是光子与氢原子相互作用后电子能级跃迁产生的谱线之一,是太阳爆发时响应最强的一条谱线,能够直接反映爆发的源区特征。通过对该谱线的观测,科学家可以清晰地了解耀斑、日珥、黑子等太阳表面大气活动。

对太阳H $\alpha$ 谱线的观测,是从上世纪的威尔逊山天文台开始的。由于受到大气干扰,科学家在地面无法获得连续稳定的探测数据。李川解释,这是因为地球大气对某些电磁波段有屏蔽作用,地球大气的扰动也会严重影响观测数据的质量。“羲和号”飞出了大气层,在空间进行探测,就能对其进行高分辨率成像,“它是世界上第一个天基的、可以对太阳H $\alpha$ 谱线进行光谱扫描的卫星”。

完成这项任务的是“羲和号”搭载的H $\alpha$ 成像光谱仪,其光谱分辨率高达0.0024纳米,可在46秒内获得全日面1600万个点上的光谱,每张光谱扫描图像包含300多张照片,分别对应了光球层和色球层不同高度处的太阳图像。

“这相当于给太阳低层大气做了一次CT扫描。”李川告诉记者,依靠这些数据,科学家可以更加准确地获得太阳爆发时大气温度、速度等物理量的变化,进而建立太阳爆发从光球层到日冕层的能量积累、释放、传输的完整物理模型,为研究太阳爆发的动力学过程及物理机制提供关键依据。

除了太阳H $\alpha$ 谱线外,“羲和号”还同时获得了Si I谱线和Fe I谱线。以往在地面观测时,Si I谱线被地球大气的水分子谱线所掩盖,“羲和号”在国际上首次在空间直接观测到了Si I完整的谱线轮廓。由此可见,“羲

和号”在太空中获取太阳全日面的光谱信息,其时间分辨率和光谱分辨率都是之前的卫星无法比拟的,其探测成果将显著提高我国在太阳物理领域的国际影响力。

### 高清防“手抖”,太阳专属“摄影师”有秘技

“羲和号”的全称是“太阳H $\alpha$ 光谱探测与双超平台科学技术试验卫星”,这意味着它的另一大创新点在于新型卫星技术。所谓“双超”,指的是超高指向精度、超高稳定性。“羲和号”在国际上首次实现了主从协同非接触“双超”卫星平台技术在轨性能验证及工程应用。

传统卫星载荷往往固定在卫星平台上,因此在给天体“拍照”时,如果卫星受到宇宙射线等干扰,拍下的照片就会出现“手抖”。而在太空中,卫星载荷一次微小的振动,都会使得成像效果差之毫厘,谬以千里。“羲和号”每天拍摄压缩下传到地球的数据接近1T,要是经常“手抖”,就会浪费大量数据资源。

为了获得更多太阳表面结构的“高清照”,“羲和号”的卫星平台从总体设计理念上打破传统固连设计思想,采用非接触磁浮作动器实现载荷舱与平台舱的动静隔离,“就好像磁悬浮一样,让相机悬空起来,这样即使平台受干扰,正在拍摄中的相机依然能够精准对准太阳,获得高清图像。”李川介绍,与传统卫星平台相比,“羲和号”卫星平台的指向精度、姿态稳定性均有几十倍、上百倍的提升,“这是世界上首次将磁悬浮技术在航天器上进行工程应用,大幅提升了我国空间观测技术水平”。

此外,“羲和号”还在轨验证了无线能源传输、舱间无线通信、舱间激光通信、重复连接释放、舱间电缆脱落与收纳、原子鉴频太阳导航仪等多项新技术和新产品。

其中,原子鉴频技术就是给卫星装上导航仪。行驶在地球上的汽车可以通过导航系统实时掌握自己的位置,卫星在太空中飞行,如何准确获取自身的位置和速度呢?

科学家发现,太阳光到达在太空中运动的卫星时,会产生频率变化,也就是通常说的“多普勒频移”。简单来说,就是运动的物体把它前方的波形挤压得更致密,后方拉伸得更稀疏。这种频移的大小与卫星相对太阳的视向速度成正比。因此,如果能测出太阳光的这种频率变化,也就能知道卫星相对太阳的视向速度。

“羲和号”实现了国际首台原子鉴频太阳测速导航仪的在轨验证。该导航仪利用钠原子自身的超精细光谱作为频率标准,实时准确地确定太阳光的频率变化,进而获取卫星相对太阳的视向速度。经过在轨实测,该导航仪的速度测量精度优于2米/秒。这一技术创新为我国未来深空探测任务中的自主导航,提供了一种新型速度测量技术手段,促进

了原子鉴频及相关技术在航天领域的应用。据介绍,未来双超平台技术将在高分辨率遥感、太阳立体探测、系外行星发现等新一代航天任务中得到推广应用,从而推动我国空间技术的跨越式发展。

### 天地协同观测,探日“三步走”持续发力

在地面太阳监测网中,目前性能最强的是位于美国夏威夷哈雷阿卡拉山口口径4米的DKIST太阳望远镜。我国也在云南抚仙湖、内蒙古阿拉善等地建立了地面太阳观测网,在太阳光谱、太阳磁场等领域取得了一批成果。目前,南京大学正在主持建设我国最大口径(2.5米)的太阳望远镜WeHoST。

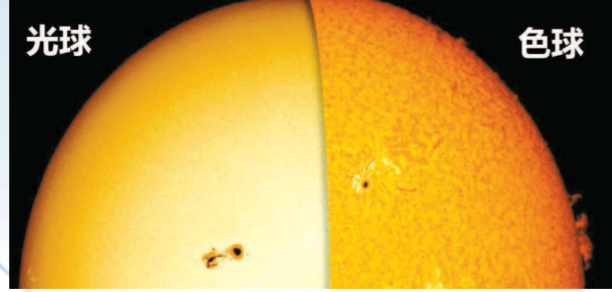
但是,由于地球大气对紫外线、X射线、伽马射线等电磁波的阻挡,大气对可见光波段的吸收、扰动,以及阴雨天气、日夜变化等因素的影响,地面太阳监测网无法做到连续观测。同时,由于电离层屏蔽,太阳的低频段无线电波也无法在地面进行观测。而要探测行星际等离子体、磁场信息,更是必须到深空中去。所以,开展空间太阳观测是国际太阳物理研究领域的必然选择。

短短几十年,人类的太阳空间探测就进入了高时空分辨率、高光谱分辨率、多波段、多视角探测等多种技术、多种方式各显神通的阶段。例如,2018年8月发射的帕克太阳探测器,可以到达距太阳约600万公里处,直接测量日冕等离子体参数,研究太阳风的起源和加速、太阳高能粒子的加速和传播、日冕加热等科学问题。2020年2月发射的太阳轨道探测器,最近可到达距太阳约4200万公里的地方,可在一定程度上观测太阳的极区,研究诸如极区磁场和日震学等科学问题。

在“群雄逐日”的国际太阳探测热潮中,我国也不甘人后。目前,我国太阳物理学界与相关工程部门正在开展相关规划论证,已联合提出“日地L5点探测”“太阳极轨探测”“太阳抵近探测”三步走计划,将从不同方向和距离观测太阳。

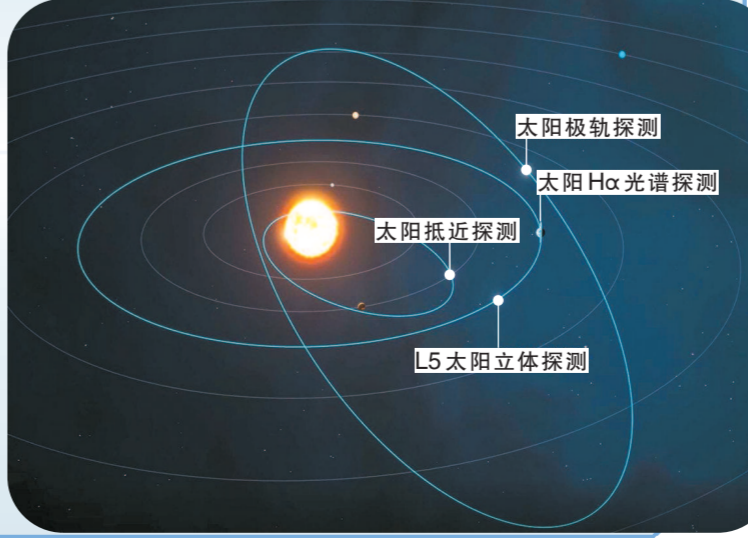
中国科学院院士、“羲和号”科学总顾问方成介绍,这些工程和计划均属太阳空间立体探测,即从不同方向观测太阳。要想解决诸如太阳磁场的产生和演化及其与太阳活动的关系、太阳爆发的物理机制及其对空间天气的影响这类重大科学和应用问题,空间立体探测必不可少。

以日地L5点太阳探测工程为例,该工程计划长期稳定地观测太阳及行星际空间环境。日地L5点与太阳和地球的连线呈等边三角形,卫星可提前4-5天观测到即将面向地球的活动区,也可监测太阳爆发向地球传播的整个过程。这将帮助天文学家探索太阳磁场的起源和演化,揭示太阳活动的三维结构和物理机制,监测太阳爆发的行星际传播和对地响应。

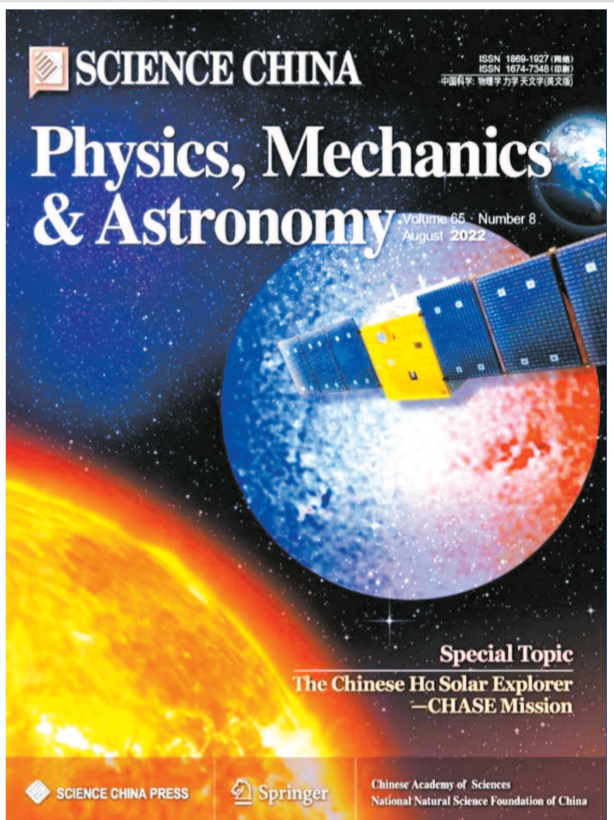


太阳的光球层和色球层,它们是“羲和号”上太阳空间H $\alpha$ 成像光谱仪的观测对象。

目前我国提出的未来太阳探测计划示意图



- #### 人类历史上的明星级太阳探测器
- 1962年发射的美国轨道太阳天文台(Orbiting Solar Observatory)
  - 1990年发射的首次实现太阳极轨探测的“尤利西斯”探测器(Ulysses)
  - 1995年发射的首次在日地拉格朗日L1点开展定点观测的“常青树”“太阳和日球层天文台”(SOHO);
  - 2006年发射的首次实现双探测器绕日立体探测的“日地关系天文台”(STEREO);
  - 2010年发射的史上日回传数据量最大的探测器“太阳动力学天文台”(SDO);
  - 2018年发射的首次抵太阳仅9个太阳半径的“帕克”探测器(PSP)。



《中国科学》杂志出版的“羲和号”卫星专刊封面 本版图片均来自国家航天局。

### 从夸父追日到羲和探日

太阳是我们了解宇宙的一个窗口。这颗银河系中极其普通的恒星,是人类目前唯一可进行高时空分辨率和高光谱分辨率观测的恒星。通过观测和研究太阳,我们可以了解一些基本的天体物理过程。

太阳也是宇宙中与人类关系最密切、对人类社会生活影响最大的一颗恒星。俗话说,万物生长靠太阳。太阳在地球演化和人类文明发展过程中发挥着不可替代的作用。作为距离我们最近的恒星,太阳在超过45亿年的时间里,孕育了地球上的天气、气候,以及我们所依赖的生态环境。大众熟知的光合作用,就离不开太阳的光能。

太阳对人类的影响特别表现在时有发生的光合作用,就离不开太阳的光能。太阳对人类的特别影响表现在时有发生的光合作用,就离不开太阳的光能。太阳对人类的特别影响表现在时有发生的光合作用,就离不开太阳的光能。太阳对人类的特别影响表现在时有发生的光合作用,就离不开太阳的光能。

我国民间对太阳的观测已有数千年的历史。从上古时代的夸父追日传说,《论语》两小儿辩日的哲理故事,到汉代肉眼观测太阳黑子记录,再到历朝历代对日食的丰富记载,中华民族对太阳的求知探索从未停歇。

以“羲和号”为代表的太阳探测卫星,是太阳空间探测的“千里眼”。上世纪60年代以来,国际上已陆续发射70余颗太阳专用或相关卫星,近代太阳物理的许多开拓性成果都来自于这些卫星的观测。在“羲和号”之前,我国仅通过一些空间载荷获得了一些太阳观测数据。例如,神舟二号空间天文分系统获得太阳X射线和伽马射线流量数据,气象卫星风云三号E星获得在极紫外和X射线波段的成像等。“羲和号”打破了我国无太阳探测专用卫星的历史,迈出了我国太阳空间探测的重要一步。

当前,太阳空间探测已进入新阶段。高时空分辨率、高光谱分辨率、多波段、多视角探测等多种技术、多种方式各显神通。在国际太阳探测的热潮中,我国相关科研工作也将更上一层楼。目前,我国太阳物理学界与相关工程部门联合,提出了多个太阳空间立体探测计划。这些计划将从不同方向观测太阳,以解决诸如太阳磁场的产生和演化及其与太阳活动的关系、太阳爆发的物理机制及其对空间天气的影响等重大科学和应用问题。

从夸父逐日到羲和探日,中国太阳物理科研工作者和航天工作者将以更坚定的信念、更严谨的态度,继续扬帆星辰大海。

(作者为中国科学院院士、“羲和号”科学总顾问)