

卷首语

中国的空间“探日”时代

2021年10月14日,中国首颗太阳探测科学技术试验卫星“羲和号”搭载全日面H α 成像光谱仪升入太空,进行太阳色球动力学的光谱成像观测。1年之后,2022年10月9日,另一颗以“一磁两暴”(太阳磁场、太阳耀斑和日冕物质抛射观测)为目标的综合性太阳探测卫星——先进天基太阳天文台(“夸父一号”)进入太空。双星太空共舞,探日问天,标志着中国空间探日时代的到来。

中华民族保留着人类最早的太阳活动观测记录。《汉书·五行志》记载了公元前28年观测的太阳黑子:“三月己未,日出黄,有黑气,大如钱,居日中央。”中国古代黑子观测记录,对研究太阳的长期变化及其与气候变化的联系,如蒙德极小期研究等,有重要的科学价值。20世纪70年代,中国科学院云南天文台编撰了中国从公元前43年(西汉)到公元1638年(明朝)的目测黑子记录,估算出太阳黑子的出现具有 10.6 ± 0.4 年的周期,同时展现了太阳黑子和地球极光出现的相关性。然而,在望远镜发明之后的300多年里,中国在天文学和太阳物理学研究领域,却逐渐与科学的前沿进步拉开了距离。

1978年3月,全国科学大会召开,科学的春风吹拂祖国大地。与其他科学技术领域一样,中国的太阳和空间物理研究进入全新发展阶段。20世纪80年代,南京大学和中国科学院云南天文台等机构在多波段光谱学观测研究取得重要进步,基于非局部热动平衡理论计算的太阳大气半经验模型研究走向国

际前沿;中国太阳物理学者方成、丁有济、顾啸马等在光谱学观测领域取得的学术研究,在重要的国际天文学学术期刊发表。从20世纪60年代开始,北京天文台艾国祥与合作者经过近20年的努力,创造性地发展了中国“太阳磁场望远镜”,成为世界上最好的太阳矢量磁像仪。太阳磁场望远镜的成功,让中国太阳物理站到了国际最前沿,也让中国太阳物理学者积极参与和组织国际合作研究,推动了太阳磁场和太阳活动研究的进步。

太阳物理学是天文学的一个重要分支。美国太阳物理学家哈罗德·齐林(Harold Zirin)在其名著《太阳的天体物理学》序言中,质疑漠视天文学中太阳物理教学的倾向——“(学生们)不理解恒星,如何理解由恒星组成的星系”,而“没有关于太阳的基础知识,又如何理解恒星”?当今的太阳物理学不再局限于研究太阳自身,已扩展到包含太阳-地球-行星际空间作为整体的结构和演化的科学领域。其主要的科学目标包含在3个互相关联的学科方面:(1)作为空间等离子体物理学实验室的物理学研究;(2)作为一个被详尽观测(甚至包括被局地测量)的恒星范例的天体物理学研究;(3)作为直接影响人类生存环境的空间天气和空间气候驱动源的研究。

太阳活动对人类的生存环境和高技术系统的安全有极为重要的影响。对准确可靠的太阳活动预报的需求,推动着太阳和空间物理学的进步。20世



汪景琇

中国科学院院士
中国科学院大学资深
讲席教授
中国科学院国家天文
台研究员

太阳物理学家,研究
方向为太阳磁场和太阳
活动。

中国科学院国家
天文台,北京 100012

当今太阳物理学不再局限于研究太阳自身,已扩展到包含太阳-地球-行星际空间作为整体的结构和演化的科学领域。

纪90年代以来,以认知和预报太阳活动的起源、太阳活动对空间环境和人类高技术系统影响的新学科“空间天气学”诞生并得到迅速发展,成为太阳和空间物理学中一个非常活跃的研究领域。类比气象科学中的天气学,空间天气旨在研究太阳、地球磁层-电离层-中层和热层、行星际空间,乃至整个太阳系(日球层空间)状态的变化,及其对高技术系统和人类活动的影响。与地球科学中的天气学和动力气象学相比,空间天气学主要研究磁性大气,即由部分和完全电离等离子体组成的大气的状态、结构和激变过程的“磁大气天气”。空间天气学(或“磁大气天气学”)研究将应用于更广泛的宇宙天体对象,如广泛存在的类太阳恒星和环绕它们的行星系统。

在空间探测方面,2018年美国发射的“帕克号太阳探针”在2023年7月离太阳表面最近的距离已到10个太阳半径左右,发现了太阳风中的“磁岛”结构和“磁偏折”现象,以及太阳风加速过程的“脉冲式爆发”,探测到日冕中大量的纳耀斑和等离子体湍动过程。2020年欧洲空间局发射的“太阳轨道器”,在2022年10月以来其近日点已飞抵离太阳约0.3倍的日地距离,位于水星轨道以内,未来将继续借助金星引力辅助逐渐抬升倾角轨道,计划从设计寿命阶段的7.7°逐渐提高到延寿运行的24°~30°(2027年1月),以期实现对太阳高纬度和极区有限的观测能力,开始取得多项突破性发现,正填补对高纬度太阳活动和全球磁场结构的认知空白。

在地面观测方面,太阳物理学界期盼已久的口径4 m的美国“井上太阳望远镜”,2022年在夏威夷毛伊岛哈莱阿卡拉天文台正

式投入科学运行。以30 km空间分辨率,DKIST观测到太阳光球磁通量管的精细结构,发现磁场在太阳表面呈纤维化和瞬态变化的编织状态;首次在红外波段实现灵敏度为1 G的太阳宁静区弱磁场测量,发现大尺度弱磁场网络;在太阳活动研究中,观测到尺度约100 km磁重联电流片精细结构,证认重联区附近的等离子体湍流加热。

进入21世纪,人类对太阳和太阳系的探索正在开启一场新的“哥白尼式”的天文学革命。对太阳、恒星及其周边世界的研究,聚焦在宇宙中生命的起源、太阳系外类地行星的宜居性,以及如何呵护和扩展人类美丽的家园等重大课题上。“井上太阳望远镜”“帕克太阳探针”和“太阳轨道器”3个重大设备,代表了人类对主导自己生存环境的太阳新探索的开端。

太阳极区是人类科学发展历史上从未被正面观测过的区域。太阳极区是联系太阳、地球和行星际的高速太阳风的源头;作为太阳活动周的极向分量,太阳极区是太阳活动带磁场和太阳活动的源头。同时,太阳极区在很大程度上决定了日球层的大小和结构。太阳极区探测是极具挑战性的科学任务,是深空太阳探测国际竞争的制高点。

把太阳极区作为探测目标,是中国空间探日工程中的一个有勇气且具有战略意义的选择。中国的太阳极轨天文台项目的总体方案在国际上处于领先地位,目前已进入工程研制;未来联合环日或在日地拉格朗日L1/L5点的探测计划,中国的太阳和空间科学研究将提供完整的太阳全球面三维磁场和磁活动的图景,实现对灾害性空间天气实时准确的预

警和可靠预报,服务国家的战略需求和人类科学探索的需要。

不可否认的是,太阳地基重大观测设备的发展,也具有不可取代的科学意义。由于地面装置易于实现更大型、更复杂的观测设备和观测程序,按照科学目标的需要发展、调试、更新后端探测系统,与空间观测设施配合,实现精心思考和设计的科学目标。中国太阳物理学者在20多年前就提出了地面8 m光学和红外太阳望远镜计划,旨在研究太阳磁场的内秉结构、性质和集体行为;将在四川稻城运行的2.5 m大视场高分辨率太阳望远镜(WeHoST),是国际上首台兼具太阳和恒星物理观测需求的望远镜;位于甘孜州稻城县被称为“千眼天珠”的圆环阵太阳射电成像望远镜(DSRT),是目前已建成的全球规模最大的综合孔径射电望远镜,正在对太阳风暴的日地空间传播链条进行高质量监测;位于青海冷湖赛什腾山的“中红外太阳磁场精确测量系统”(AIMS)2024年初已投入观测,精确测量导致太阳耀斑等太阳活动和日冕加热的磁场变化。明安图射电频谱日像仪(MUSER)将形成一个包括厘米波—分米波—米波—10米波在内的超宽带射电频谱三维成像观测系统,对太阳爆发活动及其行星际扰动做全面监测。

中国《国家空间科学中长期发展规划(2024—2050年)》业已发布,日地全景是规划的5大科学主题之一。中国的空间探日时代已经到来。中国的太阳和空间物理学者会自立自强,“步步着实”,努力奋斗,同时与国际学术界紧密合作,实现在太阳和空间物理领域的重大突破性进展,为国家发展、人民幸福和人类进步作出杰出贡献。