0254-6124/2021/41(1)-076–08 *Chin. J. Space Sci.* 空间科学学报

GAN Weiqun, CHANG Jin, MA Yuqian. 40 years of space solar physics in China (in Chinese). *Chin. J. Space Sci.*, 2021, **41**(1): 76-83. DOI:10.11728/cjss2021.01.076

中国空间太阳物理 40 年 *

甘为群[1] 常 进[1] 马宇蒨[2]

1(中国科学院紫金山天文台 暗物质与空间天文重点实验室 南京 210023)

2(中国科学院高能物理研究所 粒子天体物理重点实验室 北京 100049)

摘 要 中国空间科学学会成立的 40 年也是中国空间太阳物理从起步到发展的 40 年. 本文简要回顾了从 1980 年前后到 2020 年中国空间太阳物理的主要历程, 尽可能涵盖期间推动的主要项目、进展和所取得的成果. 并对未来若干年中国空间太阳物理的发展进行了展望.

关键词 空间太阳物理, 空间天文

中图分类号 P 353

40 Years of Space Solar Physics in China

GAN Weiqun[1] CHANG Jin[1] MA Yuqian[2]

1(*Key Laboratory of Dark Matter and Space Astronomy, Purple Mountain Observatory, Chinese Academy of Sciences, Nanjing* 210023)

2(*Key Laboratory of Particle Astrophysics, Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049)

Abstract The 40 years anniversary of Chinese Society of Space Research is also the 40 years anniversary of Chinese Space Solar Physics. We briefly summarize the hard development of space solar physics in the past 40 years from around 1980 to 2020, including all the projects and every major effort, in spite of realized or unrealized ones. The prospection in the near future is also made.

Key words Space solar physics, Space astronomy

0 引言

中国空间科学学会成立于 1980 年 9 月, 学会的成立是为了更好地满足中国空间科学学科发展的需要, 这其中就包括空间天文和空间太阳物理的发展需要. 早在 1976 年, 中国天文界就提出要研制中国第一颗天文卫星的设想, 并随后开始实施, 这是中国空间天文的起点和开端. 之后中国空间天文经历了漫长的发展阶段, 从国力较弱下的起步和摸索, 到国力提高后的抓住机遇和乘势而上, 发展到今天初具规模的局面, 这其中得益于国家综合国力的提高和科研环境的巨大改善, 得益于国家对空间科学的日益重视, 得

* 国家自然科学基金项目 (U1731241, 11921003) 和中国科学院先导专项 (XDA15052200) 共同资助

2020-09-30 收到原稿

E-mail: wqgan@pmo.ac.cn

益于中国科学院空间科学战略性先导科技专项的实施, 同时也饱含着中国空间天文工作者长期艰辛的努力与付出. 表 1 列出了中国空间科学学会空间天文专业委员会历届主任和副主任委员名单.

值此中国空间科学学会成立 40 周年之际, 回顾 40 年来中国空间天文的发展历程, 既是对历史的交代, 也是为了更好地展望未来. 我们拟按空间太阳物理和空间天文两部分进行回顾, 本文侧重空间太阳物理项目的介绍, 空间天文的回顾文章见文献 [1]. 限于篇幅, 本文未对空间物理中的有关探测 (含气象卫星上有关探测) 予以详细介绍, 感兴趣的读者可以参见相关专题的细节介绍.

1 中国空间太阳物理 40 年

空间天文往往都是从对太阳探测开始的, 中国也不例外. 梳理中国空间太阳物理发展脉络, 几个主要里程碑是: 天文一号卫星; 载人航天中的太阳观测; 若干太阳探测计划的尝试; 先进天基太阳天文台 (ASO-S) 和中国 Hα 太阳探测器 (CHASE) 的立项实施等. 迄今为止, 只有神舟二号飞船上的空间天文分系统取得了实际的空间太阳观测数据, 但从学科发展及历史进程上看, 我们仍然按照时间顺序就主要项目和尝试做一个相对全面的梳理.

1.1 1980−1990 年: 艰难起步

虽然早在 1971 年发射的实践一号卫星上就有用于观测太阳软 X 射线的铍窗积分电离室, 但中国空间太阳物理研究真正启动是围绕天文一号卫星所展开. 当时继国家完成 “ 两弹一星” 任务后, 科学界提出 “两星一站” 计划, 其中的一星就是指天文一号卫星, 可见当时的影响很大. 据中国科学院紫金山天文台 (以下简称紫台) 有关档案资料记载, 天文一号卫星的概念是在充分酝酿的基础上, 由紫台张和祺台长牵头在 1976 年 7 月的一次全国会议上正式提出, 目标是填补中国空间天文的空白, 以太阳观测为主, 非太阳观测为辅. 太阳观测又以耀斑爆发为主, 非太阳观测主要针对暂现性高能 X 射线和 γ 射线暴. 紫台为此专门成立了中国第一个空间天文实验室. 之后联系国内多家单位对天文一号卫星的概念进行了长达一年多的详细论证, 1977 年 12 月通过了天文一号卫星的立项论证, 1978 年 1 月正式启动了天文一号卫星的方案设计及随后的工程研制阶段, 并在 1978 年 3 月确定了 9 种探测仪器. 其中观测太阳的 7 种仪器是: (1) 掠入射软 X 射线成像望远镜, (2) 氢莱曼阿尔法电离室, (3) 44~60 Å电离室, (4) 0.6~2 keV 气体正比计数器, (5) 2~20 keV 气体正比计数器, (6) 硬 X 射线闪烁计数器, (7) 太阳 γ 射线探测器. 天文一号卫星的载荷总重量 30 kg, 轨道为高度 500 km、倾角 50° 左右的圆轨道. 原计划在 1980−1981 年的太阳活动第 21 周峰年期间发射天文一号卫星. 如果按期发射, 则天文一号卫星和日本 Hinotori 卫星及美国 SMM 卫星几乎是同时的, 中国的空间太阳物理也将与日本和美欧处于同一起跑线上.

可惜的是, 由于部分载荷 (主要是掠入射软 X 射

表 1 中国空间科学学会空间天文学专业委员会历届主任和副主任委员

Table 1 Chairman and vice-chairmen of successive Space Astronomy Division, Chinese Society of Space Research

时间	正副主任委员
1982 年 11 月至 1983 年 10 月	张和祺、杭恒荣、徐永瑄
1983 年 11 月至 1987 年 10 月	张和祺、邹惠成、李惕培
1987 年 11 月至 1991 年 11 月	张和祺、陆柱国、邹惠成
1991 年 12 月至 1996 年 4 月	杭恒荣、陆柱国、邹惠成
1996 年 5 月至 2001 年 5 月	张和祺、艾国祥、杭恒荣、李惕培、邹惠成、林华安、张南
2001 年 5 月至 2006 年 7 月	张和祺、艾国祥、李惕碚、马宇蒨、张南、唐玉华
2006 年 8 月至 2011 年 7 月	李惕碚、常进 (常务)、王世金、王焕玉、杨世模、戴子高
2011 年 8 月至 2016 年 7 月	方成、甘为群
2016 年 8 月至 2021 年 7 月	甘为群、常进

线成像望远镜) 的研制难度超出之前的预期, 其研制进度的滞后加上一些其他因素导致该卫星发射计划推迟到 1985−1986 年. 在太阳极小年发射天文一号卫星, 对原先确定的以观测太阳为主的科学目标较为不利, 因此对卫星观测计划进行了比较大的改动, 提出了一星多用的原则, 调整后的天文一号卫星变成了一颗综合性科学卫星, 包含 8 项天文观测项目、3 项空间物理探测项目、3 项新技术试验项目. 8 项天文观测项目中, 4 项为太阳观测项目, 具体包括: 太阳氢莱曼阿尔法辐射探测器 (1130~1350 Å)、太阳软 X 射线流气式正比计数器 (0.2~2 keV)、太阳 X 射线正比计数器 (2~15 keV)、掠入射软 X 射线成像望远镜 (3~60 Å), 前 3 项由紫台负责研制, 最后一项由长春光学精密机械与物理研究所 (以下简称长光所) 负责研制. 虽然卫星载荷大多数按计划完成了初样鉴定件的研制及环模试验, 但由于卫星体量变大, 系统变复杂, 经费增多, 特别是后来国家政策调整等诸多不利因素, 天文一号卫星计划最终未能继续下去.

1.2 1991−2001 年: 初有起色

天文一号卫星于 20 世纪 80 年代早期下马以后, 虽然有些零星的探测试验 (例如中国科学院上海天文台的太阳红外亮温度气球探测、中国科学院大气物理研究所的太阳常数探测仪等), 但相当长一段时间内中国的空间太阳物理观测处于停滞状态, 直到 20 世纪 90 年代初期, 情况才有所改观, 其中标志性的两件事是: 载人航天搭载项目启动以及提出了空间太阳望远镜计划.

早在 1992 年中国天文界开始酝酿和提出在载人航天工程试验星阶段搭载空间天文探测仪器的计划, 经过多轮论证, 1994 年初最终确定并立项实施空间天文分系统 “太阳和宇宙天体高能辐射监测仪”[2,3]. 其包含如下三台仪器:

超软 X 射线探测器 (SXRD, 0.2~2 keV);

X 射线探测器 (HXRD, XD1: 10~200 keV, XD2: 40~800 keV);

γ 射线探测器 (GRD, 200 keV~10 MeV).

中国科学院高能物理研究所 (以下简称高能所) 为分系统牵头单位, 并负责 X 射线探测器的研制, 紫台负责另外两台探测器的研制. 三台载荷经过长达 7 年的研制过程, 于 2001 年 1 月 10 日随神舟二号飞船顺利入轨, 按计划飞船在轨运行 165 天. 在此期间, 三台载荷工作正常, 除了观测到若干宇宙 γ 射线暴 [2], 还观测到数十个太阳 γ 射线耀斑 [4] 和逾百个太阳硬 X 射线耀斑 [5]. 图 1(a) 为 2001 年 4 月 6 日 X5.6 级耀斑 (19:14 UT) HXRD 观测到的光变曲线, 图 1(b) 为 GRD 观测到的光变曲线与日本 YOHKOH 卫星 WBS 载荷同波段观测结果的对比 [6]. 神舟二号空间天文分系统的成功, 实现了中国空间太阳 (天

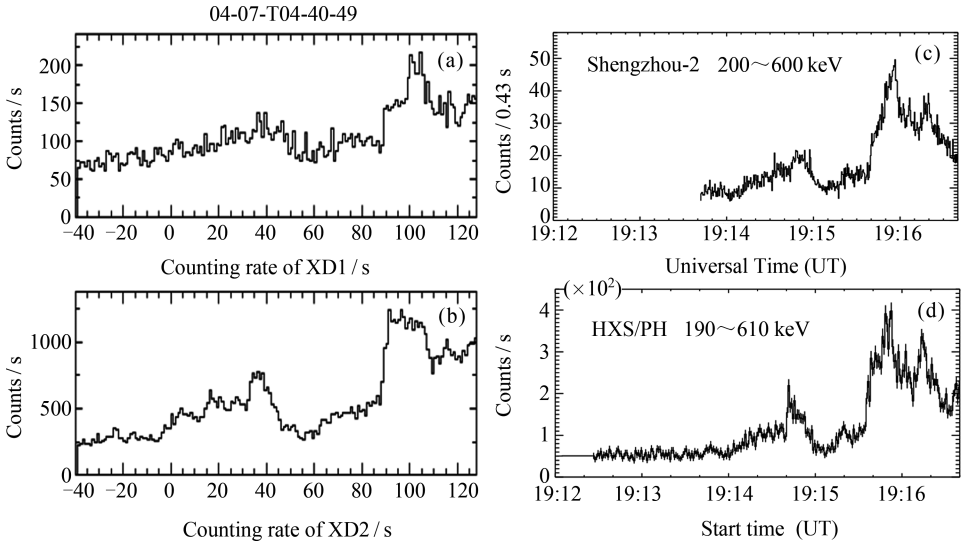

图 1 2001 年 4 月 6 日 X5.6 级耀斑 (19:14 UT) HXRD 观测到的光变曲线 (a) (b) 和 GRD 观测到的光变曲线 (c) 与日本 YOHKOH 卫星 WBS 载荷观测结果的对比 (d)

Fig. 1 Light curves of the X5.6 flare at 19:14 UT on 6 April 2001 observed by HXRD (a) (b) and GRD (c) and WBS/YOHKOH (d)

文) 观测零的突破. 相关成果 2004 年获得国家科技进步二等奖 (单位排名: 紫台、高能所等. 个人排名: 马宇蒨、张南、王焕玉、常进等).

这期间另一项空间太阳物理领域的工作是提出并开展了 “空间太阳望远镜 (SST)” 计划. 1992−1993 年, 中国科学院北京天文台 (后更名为国家天文台) 艾国祥院士牵头提出 SST 的概念 [7], 最初是想将地面上取得成功的二维实时偏振光谱仪通过增加口径及通道数放到空间, 以大幅度提高磁场测量的空间分辨率和精度, 研究太阳磁元结构. 1993 年底, 为了拓展 SST 科学目标, 委托紫台调研在 SST 上增加软 X 射线/紫外望远镜 [8,9]. 之后得知德国同行曾提出独立的太阳紫外望远镜卫星方案, 因此尝试与德国马普高层大气物理研究所合作. 当时提出的 SST 载荷包括 [7]: 1 m 口径主光学望远镜 (太阳磁场望远镜); 高分辨 4 通道 EUV 望远镜; 宽波段高能辐射谱仪; 白光日冕仪; 白光全日面成像仪. 以后又增加了 Hα 全日面成像和太阳及行星际射电谱仪 [10]. 中德合作 SST 前后大约推进了二年 (1995−1996 年), 完成了概念性研究的几乎所有文档. 1997 年前后, SST 逐步得到国家有关部门的重视, 开始投入一定规模的研究经费开展前期研究, 其中主光学望远镜的气球试验是主要工作之一. 球载光学望远镜试验可以以较小的成本验证一系列关键技术, 被认为是上星前的重要步骤 [11]. 为了与实际的星上望远镜大小接近, 设计的球载光学望远镜口径达 80 cm, 并配备了相对完整的终端设备. 遗憾的是, 气球试验最终没有取得预期的效果. 在气球试验进行的同时, SST 计划也在总体推进, 截至 2001 年底, 虽然 SST 没有正式工程立项, 但完成了相当一部分 B 相阶段所要求的任务 [12].

1.3 2002−2010 年: 多方尝试

这期间除了 SST 项目的继续推进, 又提出并推进了中法合作 “太阳爆发探测小卫星 (SMESE)” 计划、“夸父 (Kuafu)” 计划等. 此外, 在中国空间科学整体框架下开展了中国空间太阳物理规划研究, 并在中国科学院空间科学战略性先导科技专项下启动了第一批空间太阳物理预先研究项目.

2004 年在法国巴黎参加第 35 届 COSPAR 大会期间, 南京大学方成院士与紫台甘为群、常进研究员一起, 与法国同行探讨太阳空间探测合作的可能性. 当时紫台受国家自然科学基金委员会资助正在开展太阳高能小卫星项目的预先研究, 在得知法方有 LYOT 和 DESIR 两个小卫星计划方案时, 中方和法方觉得可以将三个小卫星计划合并起来, 从而提出了中法合作 “太阳爆发探测小卫星 (SMESE)” 的概念 [13], 其科学目标是瞄准太阳活动 24 周峰年, 研究耀斑非热粒子的加速和传播作用过程、日冕物质抛射的形成和早期演化、以及耀斑和日冕物质抛射之间的关系. 在 SMESE 上共安排了三个载荷 [14]: LYOT (莱曼阿尔法日面成像仪和近日冕仪), 由法国空间天体物理研究所负责研制; DESIR (两波段太阳全日面红外望远镜), 由巴黎天文台负责研制; HEBS (10 keV∼600 MeV 太阳高能爆发辐射谱仪), 由紫台负责研制. SMESE 计划 2005 年入选国家航天局民用航天国际合作项目 (负责人甘为群), 并获得国家自然科学基金委员会重大国际合作项目 (负责人方成) 和国家自然科学基金委员会–中国科学院天文联合基金重点项目 (负责人常进) 的支持. 2006−2008 年, 在中国科学院国家空间科学中心参与下, 中法项目组共进行了 30 多次的双边研讨会, 先后完成了 A 相和 A^+ 相阶段的任务, 形成了 100 余份技术文档, 并通过了法国航天局组织的阶段评审. 但最终由于项目安排方面的冲突, 法方于 2009 年初正式通知中方项目终止 [15].

Kuafu 计划最早是在 2003 年初国家自然科学基金委员会组织的一次会议上由北京大学涂传诒院士牵头正式提出. 该计划旨在研究太阳爆发与地球空间环境的响应, 涉及太阳物理、空间物理、空间天气等学科, 计划发射三颗星: 位于 L1 点的 A 星主要观测太阳, 绕地球两极飞行的两颗星 (B1, B2) 主要监测地球空间的当地参数变化. 概念一经提出, 即得到国内外该领域研究者的热烈响应, 国际合作背景浓烈. 2005 年 Kuafu 计划被国家航天局列入民用航天背景型号项目, 在北京大学领导下开展概念性研究. 当时确定的 A 星载荷包括 [16]: 莱曼阿尔法全日面成像仪、莱曼阿尔法日冕仪、射电谱仪、太阳风探测包、高能粒子探测包、EUV 谱仪、高能辐射谱仪、太阳辐照计等. Kuafu 项目按计划完成了概念性阶段研究任务, 引起了相当广泛的国际关注. 2009 年 Kuafu 计划移交给中国科学院国家空间科学中心, 由中国科学院负责继续推进 [15].

这期间另一个标志性工作是开展空间太阳物理规划研究 [17], 其是中国空间科学规划研究的一个组

成部分. 这次规划与之前每五年进行一次的规划明显不同, 一是投入巨大, 二是按照工程项目进行管理, 三是系统、全面和深入, 四是目标明确. 规划的结果直接导致中国科学院空间科学战略性先导科技专项的形成. 在 2009 年启动的第一批空间科学预先研究项目中, 空间太阳物理领域三个预研项目入选 [15]. 在国家自然科学基金委员会支持下, 2009−2010 年由紫台牵头、国内多家单位参加的利用 “一箭五星” (上海航天局负责) 工程试验卫星其中两颗星的机会, 开展了 “太阳爆发–地球空间环境响应” 卫星方案研究. 在国家国防科技工业局支持下, 国家天文台牵头提出的 “空间太阳射电阵” 也获得了前期预先研究支持. 在此期间, 国家航天局等部门支持 SST 开展了深化研究, 完成了 7 项关键技术攻关 [18], 重新梳理更新了科学目标, 论证了增加日冕仪和 X 射线成像仪等 [15].

1.4 2011−2020 年: 曙光初现

最近 10 年中国空间太阳物理终于迎来了黎明前的曙光, ASO-S 和 CHASE 两个项目获得正式工程立项, 即将完成研制和发射. 另外, 提出并展开了一批高水平的空间太阳物理预先研究项目, 学科前景一片灿烂.

ASO-S 是 “先进天基太阳天文台” 的英文简称 [19], 其是正在实施的中国第一颗综合性太阳探测卫星计划. 作为中国科学院空间科学战略性先导专项第二批预先研究项目, ASO-S 卫星概念及有关三个载荷作为一个整体于 2011 年正式获得预先研究支持, 先后经历了预先研究 (2011− 2013)、背景型号研究 (2014−2016)、综合论证 (2016−2017) 等卫星计划的标准阶段, 期间还得到国家自然科学基金委员会天文联合基金和重大仪器专项 (自由申请) 的专门支持. 经过多轮竞争, 2017 年底中国科学院正式批复卫星工程立项.

ASO-S 的科学目标简称 “一磁两暴” [20], 一磁是指太阳磁场, 两暴是指太阳上两类最剧烈的爆发现象——耀斑和日冕物质抛射, 即同时观测太阳磁场、太阳耀斑 (非热辐射和紫外辐射) 和日冕物质抛射, 研究其形成机理、相互作用和彼此关联, 揭示太阳磁场演变导致太阳耀斑和日冕物质抛射爆发的内在物理联系, 同时为灾害性空间天气预报提供支持. ASO-S上共有三个有效载荷: 全日面矢量磁像仪 (FMG), 由国家天文台和南京天光所负责研制 [21,22], 用于观测太阳全日面矢量磁场; 太阳硬 X 射线成像仪 (HXI), 由紫台负责研制 [23−25], 用于观测太阳耀斑非热物理过程; 莱曼阿尔法太阳望远镜 (LST), 由长春光机所和紫台负责研制 [26,27], 主要用于观测耀斑及日冕物质抛射的日面形成和近日面传播. 卫星外形如图 2 所示, 有效载荷总重量 366 kg. 卫星的首席科学家单位为紫台, 主要参研单位还包括中国科学院微小卫星创新研究院、国家空间科学中心、西安光学精密机械研究所等. ASO-S 于 2019 年 4 月完成了为期 16 个月的方案阶段研究. 目前卫星处于初样研制阶段, 预期 2020 年底左右将转到正样研制阶段. 如果一切顺利, ASO-S 卫星将在 2021 年底至 2022 年上半年择机发射到倾角为 98.275° 的太阳同步轨道, 设计卫星寿命 4 年.

CHASE 是 “中国 Hα 太阳探测器” 的英文简称 [28]. 利用上海航天局新技术卫星平台试验 (所谓 “双超” 平台, 即超高指向精度和超高指向稳定度) 的机会, 南京大学方成院士等提出搭载太阳 Hα 全日面光谱成像观测计划, 并在 2018 年被国家国防科技工业局正式采纳. 由于 CHASE 几乎是该技术试验卫星唯一的载荷, 也可以将 CHASE 理解为是一颗功能明确的太阳探测小卫星. CHASE 的主要科学目标是太阳大气结构与动力学, 其除了全日面窄带连续谱成像, 终端装备了一台快速扫描光谱仪, 能够在 60 s 时间内得到全日面 Hα (6562.8±2.5 Å) 和 Fe I (6569.2±0.8 Å) 像谱, 即得到太阳上每一点的这两条谱线的轮廓. 仪器总重量为 40 kg. CHASE 卫星由南京大学、上海航天局和中国科学院长光所等单位合作研制, 预期 2021 年发射.

除了 ASO-S 和 CHASE 两个立项实施的太阳空间卫星计划外, 2011−2020 年早期曾有将太阳空间探测纳入国家深空探测计划的努力, 由 SST 演变来的深空太阳天文台 (DSO) 曾被列入拟议中的国家深

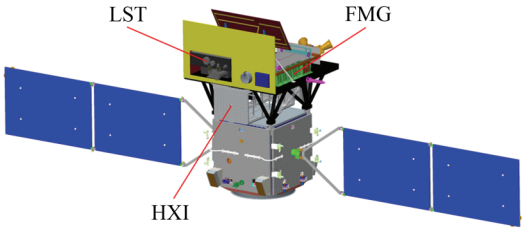

图 2 ASO-S 卫星外形设计

Fig. 2 Designed outlook of ASO-S satellite

表 2　目前太阳空间探测概念性预研项目

Table 2　List of current projects for solar space detection in conception studies

序号	项目名称	目前状态	说明
1	太阳极轨望远镜 (SPORT)	完成背景型号研究	太阳极轨观测卫星, 包括极区研究及观测 CME 在行星际传播的仪器
2	超高角分辨率太阳 X 射线成像 (SHARP)	完成 I 期预研	基于多针孔 X 射线衍射/干涉原理, 通过 20 m 伸杆达到高空间分辨率
3	太阳磁场立体探测	完成 I 期预研	发射三颗相距一定距离的卫星, 从三个不同角度观测太阳纵向磁场以构建矢量磁场
4	空间甚低频观测阵	完成 I 期预研	在 L2 点放置多颗子卫星进行射电干涉, 实现从太阳到地球的太阳风连续观测
5	大面积太阳 γ 射线能谱仪 (LASGA)	完成 I 期预研	采用新一代晶体高灵敏度 (比以往提高数十倍) 观测 10 keV∼600 MeV 太阳 γ 射线能谱
6	多尺度太阳谱天文台	完成 I 期预研	该项目有两个载荷: 一是宽波段太阳辐射监视器; 二是多波段大视场高分辨谱线成像日冕仪. 关注太阳及太阳对空间环境的影响
7	对偶太阳极轨天文台	完成 I 期预研	两颗相同的卫星绕太阳极轨运行, 监测太阳全日面, 同时重点观测太阳极区的磁场和活动
8	太阳过渡区观测研究卫星	完成 I 期预研	对太阳过渡区进行 EUV 成像和 EUV 光谱观测, 建立太阳底部过渡区、上层过渡区、日冕之间的联系
9	抵近太阳观测	完成 I 期预研	抵近太阳, 开展当地观测及遥测, 实地探测磁重联及在其中起重要作用的电流片结构
10	太阳局部磁场高精度高分辨成谱成像观测	完成 I 期预研	采用积分视场单元偏振测量新方法, 同时获得太阳局部不同大气层次矢量磁场信息
11	编队飞行太阳 X 射线望远镜	进行中	两颗卫星相距 150 m 对准太阳, 前一个放置镜头, 后一个放置探测器, 旨在得到前所未有的高空间分辨率图像
12	L5 太阳天文台	进行中	由两家单位独立提出, 分别侧重于空间天气效应和太阳物理源头研究
13	L2 太阳天文台	进行中	发射一颗卫星到 L2 点, 利用地球作为天然挡板开展日冕成像观测
14	L1 空间天气卫星	进行中	国家气象局项目, 具体情况未见公开报道
15	内日球三维成像	进行中	在地球轨道内绕太阳运转, 两两一组, 相距 120°, 观测太阳全球变化, 并立体观测太阳磁场
16	太阳近距离成像	进行中	飞到太阳附近, 重点开展太阳表面高分辨成像观测
17	新原理太阳高能辐射望远镜	进行中	采用所提出的独创性双调制原理, 即同时进行时间和空间调制, 以得到前所未有的高质量成像
18	月基太阳观测站	进行中	一个稍微长远的计划
19	空间站太阳观测载荷	进行中	包括以下提案: 多波段宽视场谱成像, EUV 偏振仪, 宽场 X 射线望远镜和日冕仪, 超宽毫米波动态谱仪
20	超高分辨太阳软 X 射线成像	进行中	尝试将现有成像空间分辨率提高一个量级以上并具有谱分辨能力

空探测计划. 为此国家天文台还牵头做了分 “三步走” 的发展规划. 无论如何, 发展 1 m 或者以上口径的太阳磁场望远镜仍为具有挑战性的前沿项目. 此外, Kuafu 计划由中国科学院接手以后, 一方面完善计划方案, 另一方面按照国际合作的思路寻求推进, 但由于多种原因未能如期实现目标. 由中国科学院国家空间科学中心牵头提出的太阳极轨射电成像望远镜计划 (SPORT) 获得先导专项 I 期背景型号项目支持 (2012−2016), 原提案是中国科学院国家空间科学中心原主任吴季早先提出的一个射电阵, 拟

从太阳极区上方观测日冕物质抛射在太阳系的传播, 后改为研究太阳极区为主. 中国气象局国家卫星气象中心从 2012 年起在风云二系列卫星上安排了由中国科学院国家空间科学中心研制的太阳软 X 射线 (0.5~4 Å和 1~8 Å) 流量监测器, 在即将发射的风云三号 (FY-3E) 晨昏轨道卫星上装载了由长光所研制的太阳 X 射线和极紫外成像仪, 开展空间天气预报业务. 此外, 由于中国科学院空间科学先导专项的实施和国家有关部门的重视, 这期间涌现出一批高质量的太阳空间探测卫星概念性预研项目, 这些项目均得到了一定的经费支持, 有些已经完成了 I 期预先研究甚至背景型号研究. 表 2 列出了迄今为止 (很可能尚不完全) 这些预研项目的有关信息 [17,29−32].

2 展望

从上看到, 中国空间太阳物理从 20 世纪 70 年代中后期开始至今走过了一条曲折的道路, 几代太阳物理学家为了改变中国没有太阳探测卫星的状态, 进行了长期不懈的尝试和努力. 40 多年过去, 除了神舟二号空间天文分系统取得过少量太阳空间观测资料以外, 中国至今仍保持着太阳探测专用卫星 “零” 的记录, 相比较国际上从 20 世纪 60 年代初以来已经发射了 70 多颗太阳探测专用或有关卫星 [32], 的确令人感慨, 尤其为天文一号卫星的夭折而惋惜. 特别是, 考虑到太阳物理学科还是中国天文学领域中在国际上排名最靠前的学科, 这就更加令人感到不安.

一个项目能否继续进行下去取决于多种因素, 这其中既有客观因素, 也有主观因素, 大多数情况下客观因素占主导. 但一个项目即使最后没有取得成功, 也不意味着一无所获. 从中国空间太阳物理的发展历程来看: 天文一号卫星积累的载荷研制经验为神舟二号空间天文分系统的成功打下了很好的基础; 而神舟二号太阳高能辐射探测器的研制经验被直接用于 SMESE 项目; SMESE 项目虽然没有走到工程立项, 但 ASO-S 卫星的立项直接受益于 SMESE 卫星概念性阶段研究的成果, ASO-S 拓展了 SMESE 科学目标和载荷构成. 此外, ASO-S 卫星能够工程立项, 与 SST 和 Kuafu 长期的预研成果也有或多或少的关联. 所以从这个角度来看, 任何一项空间太阳探测项目的尝试都是很有意义的, 是历史的组成部分.

我们欣喜地看到, 经过 40 多年的探索, 中国没有太阳探测专用卫星的历史即将在 2021 年或 2022 年随着 ASO-S 和 CHASE 卫星的发射而被改写, 成为国际太阳空间探测大家庭的一员. 我们期待, ASO-S 和 CHASE 卫星的观测结果能够给太阳物理前沿研究注入新的动力, 在 “一磁两暴” 和太阳大气结构与动力学的研究中取得重要成果, 完成中国空间太阳物理完整的体系建设. 同时, 我们期待中国的太阳空间探测在国家有关部门的重视下能够由此走上可持续发展的轨道, 建立日趋完善的项目遴选机制; 期待在年轻一代太阳物理学家努力下, 中国下一代太阳探测卫星能够在更高起点上展开, 为太阳物理学科的发展做出中国应有的贡献.

致谢 感谢方成、颜毅华阅读初稿并提出修改意见, 感谢顾逸东在纪念中国空间科学学会成立 40 周年大会报告中所展示的资料, 感谢潘厚任在纪念中国空间科学学会成立 40 周年座谈会上发言所提供的信息, 感谢蒋丽萍、许永建、孙伟英、宗位国、张效信等帮助查找有关资料.

参考文献

[1] WU Bobing, ZHANG Shuangnan, MA Yuqian. 40 years of space astronomy in China [J]. *Chin. J. Space Sci.*, 2021, **40**(1): 84-94 (吴伯冰, 张双南, 马宇蒨. 中国空间天文 40 年 [J]. 空间科学学报, 2021, **40**(1): 84-94)

[2] ZHANG Heqi. The progress on space astronomy in China during 2000—2002 [J]. *Chin. J. Space Sci.*, 2002, **22**(z1): 14-20

[3] MA Yuqian, ZHANG Nan, WANG Huanyu, *et al.* Construction of a wide-band monitor system for gamma-ray burst in space and its observations onboard the Shenzhou-2 spacecraft [J]. *Bull. Chin. Acad. Sci.*, 2005, **19**(4): 251-252

[4] ZHANG Nan, TANG Hesen, CHANG Jin, *et al.* Preliminary observing achievements of siper soft X-ray detector and gamma-ray detector onboard Shenzhou-2 [J]. *Adv. Space Res.*, 2003, **32**(12): 2579-2583

[5] MA Yuqian, WANG Huanyu, ZHANG Chengmo, *et al.* Gamma-ray burst events observed by SZ2/XD in 2001 [J]. *Int. Cosmic Ray Conf.*, 2003, **5**: 2765-2774

[6] KAUFFMANN P, RAULIN J P, MELO A M, *et al.* Solar submillimeter and gamma-ray burst emission [J]. *Astrophys. J.*, 2002, **574**(2): 1059-1065

[7] AI Guoxiang. Space solar telescope [J]. *Adv. Space Res.*, 1996, **17**(4/5): 343-354

[8] ZHANG Heqi, GAN Weiqun, CHANG Jin. Some considerations for the future space solar soft X-ray telescope [J]. *Publ. Purple Mountain Obs.*, 1995, **14**(4): 328-334

[9] CHANG Jin, GAN Weiqun. The solar soft X-rays and

their observation techniques [J]. *Publ. Purple Mountain Obs.*, 1995, **14**(4): 335-354

[10] AI Guoxiang. Progress on space solar telescope [J]. *Adv. Space Res.*, 1998, **21**(1/2): 305-314

[11] AI Guoxiang. Ballon-borne and ground-mobile solar telescope [J]. *Adv. Space Res.*, 1998, **21**(1/2): 329-332

[12] JIN Shengzhen, WANG Sen. Recent progress in the project of space solar telescope [J]. *Chin. J. Space Sci.*, 2002, **22**: 21-28

[13] VIAL J C, AUCHERE F, CHANG Jin, *et al.* SMESE: a small explorer for solar eruptions [J]. *Adv. Space Res.*, 2007, **40**(12): 1787-1801

[14] CHANG Jin, GAN Weiqun. SMESE: a Frencc-China joint solar mission [J]. *Chin. J. Space Sci.*, 2006, **26**(S1): 42-45

[15] GAN Weiqun, ZHANG Shuangnan, YAN Yihua, *et al.* Space astronomy in China: 2008—2010 [J]. *Chin. J. Space Sci.*, 2010, **30**(5): 424-426

[16] XIA Lidong, TU Chuanyi, SCHWENN Rainber, *et al.* Kuafu mission [J]. *Chin. J. Space Sci.*, 2006, **26**(0z1): 25-29

[17] GAN Weiqun, YAN Yihua, HUANG Yu. Prospect for space solar physics in 2016—2030 [J]. *Sci. Sin.*: *Phys. Mech. Astron.*, 2019, **49**: 059602 (甘为群, 颜毅华, 黄宇. 2016—2030 年中国空间太阳物理发展的若干思考 [J]. 中国科学: 物理学力学天文学, 2019, **49**(5): 059602)

[18] AI Guoxiang, YAN Yihua, YANG Shimo, *et al.* Progress on space solar telescope in 2004—2006 [J]. *Chin. J. Space Sci.*, 2006, **26**(z1): 14-17

[19] GAN Weiqun, DING Mingde, HUANG Yu, *et al.* Preface: Advanced Space-based Solar Observatory (ASO-S) [J]. *Res. Astron. Astrophys.*, 2019, **19**(11): 155

[20] GAN Weiqun, ZHU Cheng, DENG Yuanyong, *et al.* Advanced Space-based Solar Observatory (ASO-S): an overview [J]. *Res. Astron. Astrophys.*, 2019, **19**(11): 156

[21] DENG Yuanyong, ZHANG Haiying, YANG Jianfeng, *et al.* Design of the FULL-disk Magneto Graph (FMG) onboard the ASO-S [J]. *Res. Astron. Astrophys.*, 2019, **19**(11): 157

[22] SU Jiangtao, BAI Xianyong, CHEN Jie, *et al.* Data reduction and calibration of the FMG onboard ASO-S [J]. *Res. Astron. Astrophys.*, 2019, **19**(11): 161

[23] LI Hui, CHEN Bo, FENG Li, *et al.* The Lyman-alpha Solar Telescope (LST) for the ASO-S mission – I. Scientific objectives and overview [J]. *Res. Astron. Astrophys.*, 2019, **19**(11): 158

[24] CHEN Bo, LI Hui, SONG Kefei, *et al.* The Lyman-alpha Solar Telescope (LST) for the ASO-S mission – II. Design of LST [J]. *Res. Astron. Astrophys.*, 2019, **19**(11): 159

[25] FENG Li, LI Hui, CHEN Bo, *et al.* The Lyman-alpha Solar Telescope (LST) for the ASO-S mission – III. Data and poteintial diagnostics [J]. *Res. Astron. Astrophys.*, 2019, **19**(11): 162

[26] ZHANG Zhe, CHENG Dengyi, WU Jian, *et al.* Hard X-ray Imager (HXI) onbard ASO-S mission [J]. *Res. Astron. Astrophys.*, 2019, **19**(11): 160

[27] SU Yang, LIU Wei, LI Youping, *et al.* Simulations and software development for the Hard X-ray Imager onboard ASO-S [J]. *Res. Astron. Astrophys.*, 2019, **19**(11): 163

[28] LI Chuan, FANG Cheng, LI Zhen, *et al.* Chinese Hα Solar Explorer (CHASE) [J]. *Res. Astron. Astrophys.*, 2019, **19**(11): 165

[29] GAN Weiqun. Space solar physics for 2014—2016 [J]. *Chin. J. Space Sci.*, 2016, **36**(5): 636-638

[30] GAN Weiqun. Space solar physics for 2016—2018 [J]. *Chin. J. Space Sci.*, 2016, **38**(5): 662-664

[31] GAN Weiqun. Space solar physics for 2018—2020 [J]. *Chin. J. Space Sci.*, 2020, **40**(5): in press

[32] GAN Weiqun, HUANG Yu, YAN Yihua. The past and future of space solar observations [J]. *Sci. Sin.*: *Phys. Mech. Astron.*, 2012, **42**(12): 1274-1281 (甘为群, 黄宇, 颜毅华. 太阳空间探测的国去与未来 [J]. 中国科学: 物理学力学天文学, 2012, **42**(12): 1274-1281)