

# 欧洲空间天气一体化行动评述

李明, 汤惟玮, 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** 空间天气已成为人类社会在新时代面临的全球性挑战。欧洲深受空间天气的影响, 为应对灾害性空间天气作出了诸多努力。梳理了欧洲相关的空间天气计划及其自主或通过国际合作建立的地基和天基监测设施, 评述了欧洲为增强抗空间天气风险能力、提升对全球空间天气行动的贡献而完成的空间天气一体化方法评估报告。欧洲是国际空间天气行动的重要一极, 未来中欧可就全球空间天气一体化开展全方位合作, 为构建人类命运共同体作出新贡献。

**关键词** 空间天气; 中欧科技合作; 国际子午圈

空间天气<sup>[1]</sup>是指太阳、日地空间和地球空间中的环境扰动变化的自然现象, 它能影响空间和地面关键技术系统的运行和效能, 危害人类的生活与健康。极端空间天气事件会直接或间接地导致卫星、通信、导航、航空、电网等天基和地基技术系统发生故障或失效, 损坏国家重大基础设施, 从而对经济社会和国家安全构成严重威胁。

当前, 减缓空间天气影响、规避灾害性空间天气事件是公认的全球性挑战, 需要全世界共同参与。众多国家、国际组织和地区先后参与空间天气研究并出台了系列文件。美国于1995年公开发布了《国家空间天气计划》, 第一次“官方”定义了空间

天气, 随后持续更新多个升级版, 在2019年发布了《国家空间天气战略及行动计划》<sup>[2]</sup>, 应对空间天气已上升到事关国家安全的战略高度, 强调由国家主要政府部门和组织联合应对, 重视国际合作, 确保在极端事件期间空间天气产品和服务能够在全球范围内协调一致; 联合国和平利用外层空间委员会(COPUOS)发起了国际空间天气倡议(ISWI); 国际空间研究委员会(COSPAR)与国际与日共存计划(ILWS)联手制定了《全球空间天气发展路线图(2015—2025)》<sup>[3]</sup>; 欧洲空间科学委员会(ESSC)于2019年8月完成了《关于欧洲空间天气一体化方法的评估报告》<sup>[4]</sup>(简称评估报告), 旨在增强欧洲应

收稿日期: 2020-06-16; 修回日期: 2020-10-12

基金项目: 中国科学院空间科学(二期)先导专项预研项目(XDA15010000), 中国科学院重大创新领域战略规划研究——光电空间领域至2035年中长期规划战略研究项目(GHJ-ZLZX-2020-06)

作者简介: 李明, 工程师, 研究方向为空间科学发展战略规划, 电子信箱: liming@nssc.ac.cn; 汤惟玮(共同第一作者), 助理研究员, 研究方向为空间物理和大数据, 电子信箱: tangww@nssc.ac.cn

引用格式: 李明, 汤惟玮, 范全林. 欧洲空间天气一体化行动评述[J]. 科技导报, 2020, 38(22): 86-94; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2020.22.010

对空间天气风险的能力,并提升欧洲对全球空间天气行动的贡献;中国科学界也同步认识到空间天气及相关国际合作的重要性,关注国际上的空间天气计划与行动<sup>[5]</sup>,持续呼吁和推动国家重视空间天气研究、应用、服务和保障<sup>[6]</sup>。由此可见应对空间天气的重要性、迫切性、全球性,空间天气已成为人类社会新时代面临的新挑战。

## 1 欧洲深受空间天气影响

欧洲地处北半球中高纬度地区至极区,是极光观测和旅游的圣地<sup>[7]</sup>,同时欧洲国家社会信息化、现代化程度很高,国计民生对卫星、航空、电网等基础设施的依赖度高,也是频繁遭遇空间天气扰动的地区。

太阳爆发会使地球空间产生剧烈的扰动,对地基、地基的技术系统造成损害,形成所谓的灾害性空间天气事件,如1859年“卡林顿”事件(Carrington event)、1989年加拿大魁北克水电公司大停电事件、2000年“巴士底日”事件等。距今最近的一次影响范围广、程度深的全球性灾害性空间天气事件是2003年10月底至11月初发生的“万圣节”事件,其爆发的太阳耀斑是史上有记录以来级别最高的,这次事件对欧洲经济社会、科技发展造成了多方面的影响。

“万圣节”事件中,据不完全统计,全球约450颗在轨卫星中有47颗报告了异常(约占10%)<sup>[8]</sup>,德国的重力卫星——小卫星挑战计划(CHAMP)短时失效,总部位于英国的国际移动卫星组织(Inmarsat)的一颗卫星由于CPU瘫痪而失效,欧美的太阳和日球层探测器(SOHO)等科学卫星受到不同程度的损害;极区航线受到严重影响,航班使用的高频(HF)通信、导航系统、航空电子设备均受到干扰,穿越极区的航班被迫改飞低纬度地区的航线,增加了飞行时间和燃料消耗,每次改飞多支出约10万美元<sup>[9]</sup>;瑞典第三大城市马尔默(Malmö)由于地磁感应电流(GIC)造成大规模停电,导致近5万名居民停电约1h,20余列到达或离开马尔默的火车晚点约30min,此次停电造成大约50万美元的

经济损失<sup>[10]</sup>。根据欧洲空间局(ESA)的测算,一次一般级别的极端空间天气事件可以对欧洲造成约1500万欧元的直接经济损失,而随着现代社会对卫星的依赖性增加,这个数额将不断攀升<sup>[11]</sup>(图1)。

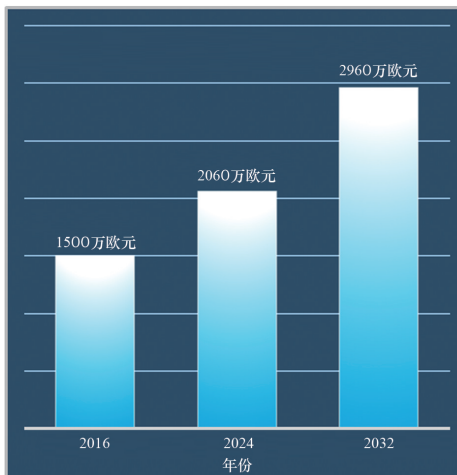


图1 ESA对极端空间天气事件潜在经济损失的预测

## 2 欧洲空间天气发展现状

早在15世纪,欧洲就有了对空间天气的观测和记录。例如,关于全球气候进入小冰期(LIA)<sup>[12]</sup>存在的证据最初起源于欧洲,2011年科学家证实LIA与太阳活动有关<sup>[13-14]</sup>。1747年,瑞典科学家佩尔·瓦根廷(Pehr Wargentin)首次通过地磁观测对极光做了预报<sup>[15]</sup>。1859年9月1日上午11:18,英国科学家理查德·卡林顿(Richard Carrington)观测到了明显的太阳耀斑,17.5h后极光甚至照亮了美国新奥尔良地区的夜空,并一直向南弥漫到热带纬度的巴哈马、古巴、牙买加等地,此次超级太阳风暴即后来被广为引用的“卡林顿”事件。

欧洲范围内应对空间天气的努力至少可以追溯到1996年,空间天气对基础设施的灾害性破坏并造成巨大经济损失,引起了ESA和欧盟(EU)的注意,为此开展了各类研究、评估等工作,ESSC也成立了相关工作组为ESA、欧盟委员会(EC)、欧洲国家空间机构等提供独立的科学建议。

### 2.1 全欧洲及各国家层面均在应对空间天气

在全欧洲层面,ESA和EU均围绕空间天气开

展了工作。ESA 于 2009 年启动了为期 10 年的空间态势感知(SSA)计划,空间天气作为 SSA 计划的三分之一,最重要的任务是建立空间天气服务网

络,由空间天气协调中心(SWE-CC)、空间天气专家服务中心(SWE-ESC)和空间天气数据中心(SWE-DC)等机构组成(图 2)。

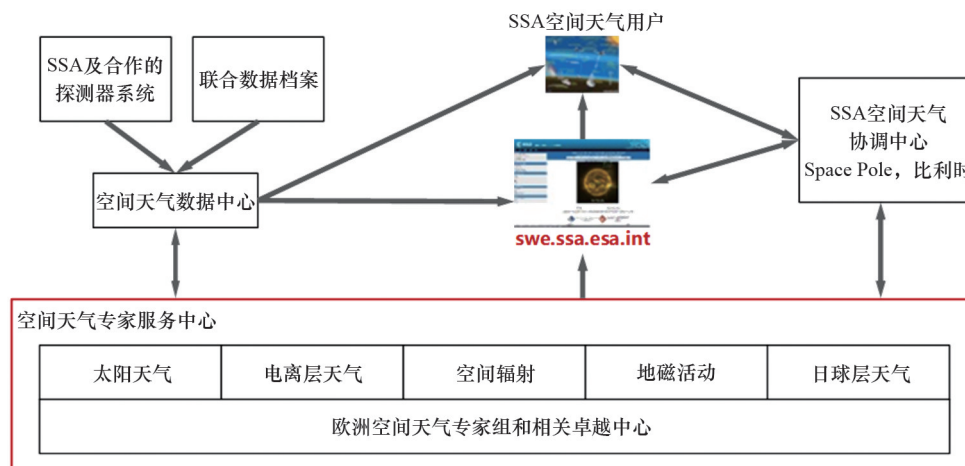


图 2 空间态势感知计划空间天气服务网络

目前,空间天气服务网络处于试运行阶段,已建成并运营了“欧洲空间天气帮助平台”,在该平台上供应商可以为用户提供初级支持,并解答有关空间天气整体状况的问题。未来,用户可以通过专用网站进行访问,由空间天气协调中心提供在线指导、数据和支持。

同时,SSA 计划将建立一个空间天气监测系统<sup>[6]</sup>(图 3),涵盖了地面监测、近地空间的原位监测和对太阳风的遥测。一方面,加强对地球空间的监测,充分利用已有的地基监测设施,尽可能多地收集所需的观测数据;建立分布式空间天气传感器系统(D3S),在 ESA 或其他机构的卫星上搭载有效载荷,从地球轨道原位观测磁层的粒子和场,以及使用小卫星或立方星任务进行补充,利用一些特殊载

荷或在特殊轨道上进行观测,进而涵盖所有需要的参量。另一方面,开展对太阳风的遥测,为了保证对灾害性太阳爆发事件的现报和临近预报能力,ESA 已启动程序评估 2 个与空间天气相关的未来任务,计划向日地拉格朗日 L1 和 L5 点发射空间天气卫星,监测行星际空间和太阳活动。

随着 SSA 计划的到期,ESA 提出的空间安全计划在 2019 年 11 月部长级会议上审议通过,获得 4.32 亿欧元拨款资助,可继续建设空间天气服务网络,建立空间天气事件预警系统,并向用户提供可执行的信息。

与此同时,EU 也充分认识到空间天气事件对天基和地基设施的影响,一方面 EC 联合研究中心(EC-JRC)开展了一系列提高对空间天气危害认识的活动,另一方面在欧盟研究与创新框架计划下资助了与空间天气相关的研究项目,例如 2007—2013 年的第七框架计划(FP7)和 2014—2020 年的地平线 2020(H2020)都对相关的研究项目进行了资助。受支持的项目包括对空间天气物理现象的广泛研究、对天基和地基系统影响的研究,以及相关模型和应用程序的开发,它们有力支持了空间天气业务服务在欧洲层面的开展。

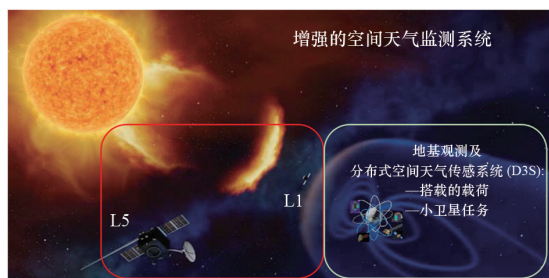


图 3 ESA 关于增强的空间天气监测系统构想

欧洲各个国家也利用本国的资金渠道支持空间天气的发展。例如,2019年6月,英国航天局(UKSA)宣布将与美国国家航空航天局(NASA)等合作,开展与空间天气相关的科学、天基和地基系统技术研究。为保护航天员、卫星和地面基础设施,UKSA委托伦敦大学学院穆拉德空间科学实验室(MSSL)研制一种先进的等离子体分析仪,用于观测太阳风,以此为基础,欧美将合作建立一个增强型空间天气预报系统(图3),以减轻空间天气对英国的影响。

欧洲不仅利用自有或者国际性的地基、天基监测网络建立了空间天气监测体系,同时也积极参与国际空间环境服务组织(ISES)、COPUOS、世界气象组织(WMO)、ILWS、COSPAR等国际组织的相关计划或研究,为空间天气这一全球关注的问题贡献力量。

## 2.2 欧洲地基监测网络

欧洲空间天气地基监测网络包括:太阳和行星际监测(LOFAR、GONG)、地磁监测(SuperMAG)、电离层监测(SuperDARN、EISCAT-3D、Galileo)和宇宙线监测(NMDB)等。

其中,低频天线阵列射电望远镜(LOFAR)是分布在荷兰东北部和整个欧洲的新一代射电干涉仪,可用于日冕物质抛射(CME)研究。LOFAR覆盖10~240 MHz低频范围,提供了许多独特的观测能力。目前,已建成52个观测站,核心由位于荷兰东北部的38个站构成,拓展的14个国际站分别建在德国、法国、英国、波兰、爱尔兰、瑞典和拉脱维亚等地<sup>[17]</sup>。

非相干散射雷达是目前地面观测电离层空间环境最强大的手段<sup>[18]</sup>,可在空间天气监测与研究过程中发挥重要作用。欧洲非相干散射科学联合会(EISCAT)建成并运行3套非相干散射雷达,分别是EISCAT-UHF(3站分别位于挪威、瑞典、芬兰)、EISCAT-VHF(位于挪威)和EISCAT Svalbard Radar(ESR,位于挪威)<sup>[19]</sup>。由于受到手机无线电频率干扰,瑞典、芬兰的UHF雷达已转为VHF雷达。欧洲在2005年启动相控阵体制的下一代非相干散射雷达系统(EISCAT\_3D)研制<sup>[20]</sup>,预计于2022年投入

运行。EISCAT\_3D是一个多站相控阵雷达系统(图4),可提升欧洲在空间天气监测和研究、大气物理与全球变化、空间等离子体物理、空间目标探测等方面的科学与应用能力。

超级双极光雷达网(SuperDRAN)是一个国际合作雷达观测网,主要测量电离层中的等离子体对

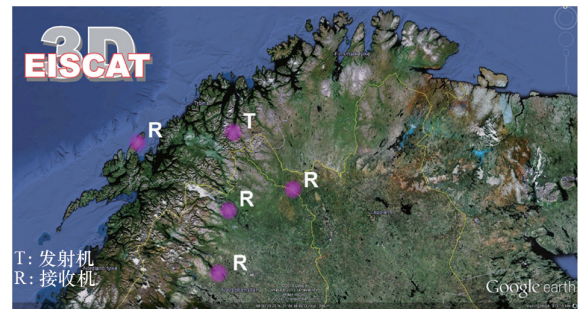


图4 EISCAT\_3D 站点分布示意

流,研究磁层和电离层现象。它由全球37部高频相干散射雷达组成,其中北半球有24部、南半球13部,欧洲有分布在法国、英国、意大利、挪威的11部雷达<sup>[21]</sup>。

利用欧洲伽利略卫星导航系统(Galileo)等全球导航卫星系统(GNSS)反演电离层总电子含量(TEC)已成为研究电离层不同时空尺度的分布与变化特性、监测电离层活动的一种主要技术。

此外,欧洲还利用众多国际地基监测网络开展空间天气监测,例如全球日震观测网(GONG)观测太阳大气中的震荡现象,分析研究太阳的内部结构和动力学过程;SuperMAG利用全球300多个地磁台测量地磁场矢量;中子监测数据库(NMDB)监测地球表面的宇宙线中子通量等。

## 2.3 欧洲天基监测能力

在对太阳和地球空间天气观测研究方面,欧洲开展了许多突破性的工作,为人们理解空间等离子体过程与空间天气的关系,以及它如何引起空间天气事件铺平了道路。

20世纪70年代,欧洲就开始对太阳磁场和地球磁层的天基观测。对太阳磁场的观测,始于西德与美国联合研制的Helios-A(1974-1985年)和Helios-B(1976-1979年)姊妹探测器。1990年,ESA与NASA合作,研制了世界首个太阳极轨探测器

Ulysses(1990—2009年),探测源于太阳极区的太阳风和行星际磁场,加深了对太阳性质的了解。对近地磁场的观测源于欧洲空间研究组织(ESRO, ESA的前身)时期,其与NASA联合研制了国际日地探测卫星ISEE-1/2(1977—1987年),深入研究太阳风和地球磁层的关系,其中ISEE-2由欧洲发射;ESRO也牵头研制了探测地球磁层的地球同步卫星GEOS(1978—1982年)。

目前,ESA在役卫星任务中,至少有4个涉及空间天气及磁层环境,约占在役科学卫星任务的1/4。其中,SOHO和PROBA-2与空间天气业务预报及研究息息相关,Cluster II和Swarm主要为地球磁层研究提供数据。ESA和NASA合作的SOHO(1995—)是日地L1点的4个卫星之一,研究从太阳内部至日冕大气的太阳动力学,是当前全球(包括中国)进行空间天气准实时预报的主要数据来源;PROBA-2(2009—)搭载的2个观测太阳的科学载荷共同监测CME,也为空间天气现报和业务化研究提供监测数据。ESA和NASA合作的Cluster II(2000—),由4颗相同的卫星呈四面体编队绕地飞行,监测地球磁层的三维信息,研究太阳活动与地球磁层的相互作用及其对近地空间环境和地球大气(包括极光)的影响,中国的双星计划曾于2004—2007年与其形成世界首个对地球空间的“六点”探测;Swarm星座(2013—)由3个卫星组成,对地磁场强度、方向及变化进行高精度、高分辨率监测,为建立地磁场及其与地球系统内部其他物理相互作用的模型提供观测数据。

考虑到空间天气对经济社会的巨大影响,ESA正积极推进太阳轨道探测器(SolO)、SMILE和Lagrange等3个空间天气科学与应用卫星任务,继续为空间天气研究及业务服务提供监测数据。

SolO已于2020年2月发射,目前正在飞往绕日飞行的科学探测轨道途中。其由ESA和NASA共同支持,旨在近距离监测太阳及其高纬度地区。SolO预计于2021年底正式开始监测,任务期内计划环日22圈。

太阳风-磁层相互作用全景成像卫星(SMILE,简称微笑计划)由ESA和中国科学院联合研制,将

于2023年发射。卫星将在绕地飞行的大倾角大椭圆轨道上,利用软X射线成像仪(SXI)和紫外极光成像仪(UVI)对太阳风和地球磁层之间的相互作用进行整体成像,并对上游太阳风或磁鞘等离子体和磁场进行实时原位探测。

拉格朗日(Lagrange)任务是欧洲第一个以提供关键服务为首要目标的深空任务,预计于2025年发射(原计划2023年<sup>[22]</sup>),提供日地空间24/7近实时数据,成为真正的“空间天气观测站”。ESA计划前往L5点探测太阳及日地空间,提前监测太阳活动爆发,观察太阳风向地球的传播过程,对灾害性空间天气事件的预警从现在的几小时提前到几天。Lagrange任务将与美国牵头的L1点相关任务联合观测,提供太阳风暴的三维图景,提高空间天气预报的准确性(图3)。目前英国在Lagrange任务中扮演非常重要的角色,承担多类有效载荷的研发。2019年底,英国政府拨款2000万英镑用于研究如何更好应对极端空间天气事件,改进现有业务预报,分析基础设施面对空间天气事件时的薄弱环节,力图补齐短板。

### 3 欧洲空间天气一体化战略分析

为了增强欧洲应对空间天气风险的能力,并提升欧洲对全球行动的贡献,在欧洲科学基金会(ESF)的支持下,ESSC设立的欧洲空间天气评估与联合委员会(ESWACC)对欧洲目前应对空间天气的行动进行了为期2年的研究。该研究组织了欧洲范围内的相关领域专家,调研了欧洲各相关机构和组织当下应对空间天气的行动,分析了存在的问题,并相应地提出了协调和优化整合建议<sup>[23-24]</sup>。

#### 3.1 欧洲应对空间天气行动存在的问题

评估表明,欧洲现有的空间天气研究,在时间尺度上缺乏将过去、现在及将来的成果进行整合,在空间尺度上缺乏将各机构的研究成果整合在一起的协调行动。同时,欧洲的天基和地基监测网正在老化,现有的设施也变得不足以为业务服务提供可靠的输入。

评估报告还从空间天气的科学认知、物理模

式、灾害影响、用户需求、预报模式和业务监测等方面进行了深入调研,指出欧洲普遍存在缺乏规律、稳定、协调的财政支持的情况,各成员国、空间机构的行动也缺乏国家层面的合作,迫切需要从整个欧洲层面进行协调,充分利用欧洲整体资源,提升欧洲应对空间天气风险的能力,为全球空间天气行动作出贡献。

### 3.2 欧洲应对空间天气行动的建议

针对上述问题,评估报告从6个领域给出了欧洲应对空间天气过程中应采取的行动建议。

1) 领域1:加强关键科学研究,提升对空间天气的科学认知。为提高空间天气的科学认知,需围绕空间天气预报的可靠性,加强空间天气已有数据集的分析,并从系统科学的角度组合日地空间相邻区域的数据及研究成果。在太阳物理、日球层物理和磁层/电离层/中性大气物理方面,为定向的空间天气研究工作提供持续和充足的经费,为“使能科学”建立长期、稳定、连续的“专项经费渠道”。

2) 领域2:通过基于耦合物理模式的系统科学方法开发和集成高级模式。为完善空间天气的物理模式,在发展现有预报模型的同时,需设立专门且持续的财政支持,用于推动物理预报模型开发;与用户共同定义一套可评估不同物理模式的指标,用来定义并监督开发进展;建立耦合预报模式测试平台,及时将最先进的物理模式纳入预报模式的业务链中。同时,应探索新的资助模式,支持总体模型开发,并组建既有科学背景又有应用经验的科学团队。

3) 领域3:在国家、区域、欧洲层面进行风险评估。为应对空间天气灾害的影响,欧洲首先应鼓励科学家与工程师围绕国家风险和社会经济影响研究开展合作,尽量减轻灾害性空间天气事件对基础设施的影响,保证创新技术可以正常使用;其次,需合并各成员国的风险评估,并扩展到区域及整个欧洲范围。同时,加大在科学界、服务提供商、最终用户群体中对此类风险的宣传,并创建定期交流论坛,及时更新相关信息,技术、科学和工程的进步需要定期回顾空间天气的灾害性影响以及减轻该影响的需求,保证用户提出的需求建立在对空间天气

灾害的理解上(图5)。

4) 领域4:整合欧洲用户需求。需协调全欧洲的行动,根据不同地域、行业的具体要求,详细阐明

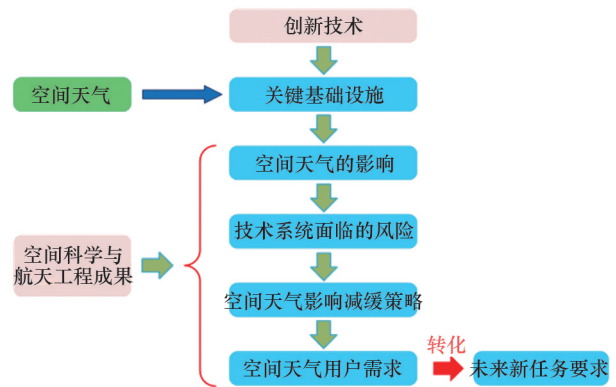


图5 空间天气对基础设施影响的“风险-需求”链

涉及不同地区、不同设施的空间天气用户需求,将这些需求整合,并按优先级排序。例如,航空、导航、通信都对灾害性空间天气事件极其敏感,图6给出了保证航空飞行安全的任务优先级排序。此外,在科学家、最终用户和服务提供商的三方研讨中,也应增强对用户需求信息的交流,定期更新对用户需求的阐释。

5) 领域5:支持研究模式向业务模式转化(R2O)和业务模式推动完善研究模式(O2R)。为

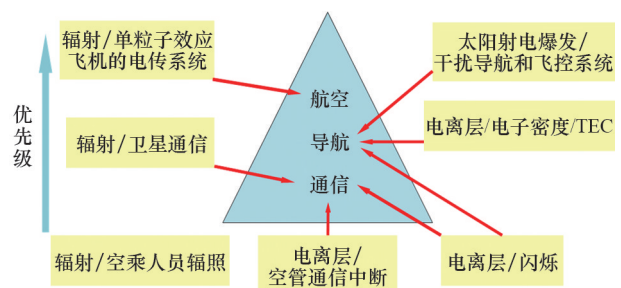


图6 保证航空飞行安全的任务优先级

改进空间天气的预报模式,需协调现行的国家行为,提供区域空间天气服务;由用户需求驱动,拓展现有的空间天气专家服务中心,鼓励科学家参与到服务开发中,根据科学进展实时更新产品,以保证服务产品在科学不断发展的情况下仍可信。报告认为R2O和O2R之间的迭代循环是发展未来欧洲

所需的空间天气活动和服务最具前景的方法。

6) 领域6:定义并构建面向未来的空间天气天地一体化的业务监测网。为加强空间天气业务监测,ESA需为地基监测网提供专门的、经协调的财政支持,并鼓励科学家及各国空间机构共同探讨空间天气专用卫星系列,为其定义一套最基本的、可驱动预报的观测参数,设计面向未来、可拓展的天地一体化业务监测网;各成员国及相关机构需开展合作,积极纳入其他国家或机构的全球行动中,共同支持地基设施网的维护、现代化和未来拓展。

## 4 讨论

### 4.1 欧洲是全球空间天气行动的重要一极

空间天气是无国界的全球现象,应对灾害性空间天气事件是一个庞大的系统工程,仅靠某个国家/区域的力量难以胜任。当前,众多国际组织、国家和地区陆续研究出台了空间天气路线图、发展战略、行动计划、研究报告等文件,积极采取行动应对空间天气的影响。

欧洲是全球空间天气行动的重要一极,不可或缺。其地基观测拥有LOFAR、EISCAT等多类特色设备,天基观测运行着SOHO、SolO等国际领先的卫星任务,但由于国别、时区跨度和投资渠道等因素的制约,欧洲已充分认识到,当前迫切需要协调各个国家和欧洲组织(如ESA和EU)内部及相互之间的空间天气行动,需要各国参与并采取全球协调对策;欧洲也在思考拟采取与其他全球伙伴合作共赢、共同响应联合国等国际组织的全球性举措,这也进一步印证了空间天气是全球性的挑战。

### 4.2 中欧在空间天气全球一体化行动中已有合作成效

中欧双方已在空间天气天基监测方面开展了实质性合作。微笑计划由ESA和中国科学院联合顶层策划,经共同征集、遴选项目,并合作开展方案设计、工程研制及数据分析与利用,将首次实现对地球磁层大尺度结构的整体成像。微笑计划是继地球空间“双星计划”后,中欧之间实施的又一空间

科学任务,开辟了中欧空间科学国际合作的新范式。中国科技部和欧盟在“龙计划”框架下共同开展了卫星大气遥感研究,中国气象局和欧洲气象卫星开发组织(EUMETSAT)自2013年以来不断深化“风云三号”等气象卫星资料应用的合作<sup>[25]</sup>。对于起步中的全球空间天气监测预警业务,依托风云卫星自主空间环境数据,中国气象局国家空间天气监测预警中心亦可推动与欧方的政府间合作。

中国空间天气地基监测优势明显,中欧可强强联合。国家重大科技基础设施“东半球空间环境地基综合监测子午链”(子午工程)于2012年建成并投入运行<sup>[26]</sup>,正在建设的“空间环境地基综合监测网”(子午工程二期)中的核心设备之一的佳木斯高频相干散射雷达数据与SuperDARN已实现数据交换。中国也与欧洲EISCAT建立了良好的合作关系,子午工程共建单位中电集团公司22所代表中国参加了EISCAT<sup>[27]</sup>。负责子午工程运行和管理的国家空间天气科学中心,是推动中欧空间天气研究预报合作的重要窗口。

子午工程二期的重要设备新一代厘米—分米波射电频谱日像仪(MUSER)位于内蒙古正镶白旗明安图,主攻太阳爆发能量初始释放区高分辨射电成像观测,为研究太阳剧烈活动打开了一个新窗口<sup>[28]</sup>。MUSER在研制过程中与欧方多次成功合作,2012年得到欧盟FP7“玛丽·居里行动计划”(Marie-Curie Actions)的国际研究人员交流合作项目支持,2016年亦曾加入欧盟发起的“e-COST”太阳射电天文学研究计划。

中国重视对空间天气源头——太阳的观测,2010年以来多台地基望远镜陆续建成运行,一米新真空太阳望远镜(NVST)位于云南抚仙湖,可在0.3~2.5 μm不同波段同时对光球、色球进行高空间分辨率的成像、光谱观测和磁场诊断,已成为全球太阳观测及空间天气预报网络的重要结点<sup>[29]</sup>。鉴于欧洲南方天文台(ESO)可观测太阳色球的阿塔卡马大型毫米/亚毫米波阵列(ALMA)受到时区跨度限制,中国的上述观测设施可与欧方实现“日不落”联测。

### 4.3 未来中欧有条件进一步开展空间天气实质性合作

面向未来,中国已规划了若干空间天气任务。中国科学院空间科学(二期)先导专项已支持了日地环境监测台(STEM)开展预研,计划在L5点对日地空间进行观测。当前ESA仍在推动L5点任务,中欧双方应尽早接洽L5点任务合作的可能性,续写中欧合作新篇章。中国首颗太阳观测科学卫星“先进天基太阳天文台(ASO-S)”将于2021年底具备发射条件,有望与欧洲的SoLO等任务协同,实现对空间天气源头太阳的观测。

此外,中国正在以子午工程为核心架构,推动实施国际空间天气子午圈大科学计划<sup>[30]</sup>,形成一个地球空间环状“扫描器”,实现对地球空间天气的实时监测和预报,亦能大幅提升中欧空间天气地基联合监测的效能。

中国多个政府机构、组织和个人为全球空间天气做出了卓越努力,欧洲亦对此给予高度评价。例如,在2017年第14届“欧洲空间天气周”上,中国科学院国家空间科学中心吴季研究员荣获“马塞尔·尼科莱男爵空间天气和空间气候奖”,以表彰他在国际层面推动空间天气合作所作的突出贡献<sup>[31]</sup>。未来,在应对空间天气这一全球性挑战方面,呼吁中国有关政府机构、院所、高校和行业部门积极思考,从各个层面与欧洲开展国际合作,产生“1+1>2”的效果,为人类和平利用太空、构建人类命运共同体贡献力量。

#### 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·空间天气预报前沿[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [2] The White House. National space weather strategy and action plan[EB/OL]. (2019-03-29) [2020-04-07]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2019/03/National-Space-Weather-Strategy-and-Action-Plan-2019.pdf>.
- [3] 刘四清, 罗冰显. 全球空间天气路线图及对中国的启示[J]. 空间科学学报, 2019, 39(3): 275-282.
- [4] Opgenoorth H J, Wimmer-Schweingruber R F, Belehaki A, et al. Assessment and recommendations for a consolidated European approach to space weather—as part of a global space weather effort[J]. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 2019, 9(12): A37.
- [5] 郭建广, 张效信. 国际上的空间天气计划与活动[J]. 气象科技进展, 2011, 1(4): 18-25.
- [6] 魏奉思, 万卫星, 曹晋滨, 等. 空间天气科学服务和平利用空间[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [7] On the hunt for the northern lights[EB/OL]. [2020-05-12]. <https://www.visitfinland.com/article/on-the-hunt-for-the-northern-lights/#44aceefe>.
- [8] Eastwood J P, Biffis E, Hapgood M A, et al. The economic impact of space weather: Where do we stand?[J]. *Risk Analysis*, 2017, 37: 206-218.
- [9] 曹晋滨. 太阳风暴及其对人类社会活动的影响[J]. 航天器环境工程, 2012, 29(3): 237-242.
- [10] Oughton E. The economic impact of critical national infrastructure failure due to space weather[J/OL]. [2020-04-07]. <http://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.315>.
- [11] ESA space 19 plus—space safety[EB/OL]. [2020-04-07]. [https://esamultimedia.esa.int/docs/corporate/Space19+flyers\\_SSA\\_LR.pdf](https://esamultimedia.esa.int/docs/corporate/Space19+flyers_SSA_LR.pdf).
- [12] 王劲松, 陈发虎, 杨保, 等. 小冰期气候变化研究新进展[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 21-27.
- [13] Foukal P, Ortiz A, Schnerr R, et al. Dimming of the 17th century sun[J]. *Astrophysical Journal Letters*, 2011, 733(2): 1788-1792.
- [14] Schilling G. Did quiet sun cause little ice age after all [EB/OL]. (2011-05-26) [2020-04-10]. <http://www.sciencemag.org/news/2011/05/did-quiet-sun-cause-little-ice-age-after-all>.
- [15] Cade W B III. The first space weather prediction[J]. *Space Weather*, 2013, 11: 330-332.
- [16] SWWT Plenary Meeting 39[EB/OL]. (2018-11-07) [2020-04-10]. [http://swe.ssa.esa.int/DOCS/SWWT/m39/SWWT-PM-39\\_20181107-minutes-with-annexes.pdf](http://swe.ssa.esa.int/DOCS/SWWT/m39/SWWT-PM-39_20181107-minutes-with-annexes.pdf).
- [17] Netherlands Institute for Radio Astronomy. LOFAR Telescope[EB/OL]. [2020-04-15]. [https://www.astron.nl/sites/default/files/shared/LOFAR\\_Brochure\\_11\\_sept.pdf](https://www.astron.nl/sites/default/files/shared/LOFAR_Brochure_11_sept.pdf).
- [18] 丁宗华, 代连东, 董明玉, 等. 非相干散射雷达进展: 从传统体制到EISCAT 3D[J]. 地球物理学进展, 2014, 29(5): 2376-2381.
- [19] EISCAT Radar Sites[EB/OL]. [2020-04-15]. <https://eiscat.se/about/sites>.
- [20] EISCAT\_3D[EB/OL]. [2020-04-15]. <https://cloud.eiscat.se/index.php/s/XH2Y3mQeXat5wdW?path=%2FPublici>

- ty%20material.
- [21] SuperDARN. Radars maps/tables/links[EB/OL]. [2020-04-16]. <http://vt.superdarn.org/tiki-index.php?page=Radars+Overview>.
- [22] SWE office timeline[EB/OL]. (2017-11-01) [2020-04-20]. [https://www.esa.int/Safety\\_Security/Space\\_Weather\\_Office](https://www.esa.int/Safety_Security/Space_Weather_Office).
- [23] European Space Weather Assessment and Consolidation Committee-ESWACC report (full version) [EB/OL]. (2019-08-30) [2020-04-21]. <https://www.swsc-journal.org/articles/swsc/olm/2019/01/swsc190036/swsc190036-1-olm.pdf>.
- [24] 汤惟玮, 李明, 范全林. 欧洲空间科学委员会发布空间天气一体化研究报告[J]. 空间科学学报, 2020, 40(2): 146.
- [25] 高时效风云三号C星资料直收将覆盖全欧[EB/OL]. (2016-02-17) [2020-7-15]. [http://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxw/2011xqxyw/201602/t20160217\\_304393.html](http://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxw/2011xqxyw/201602/t20160217_304393.html).
- [26] 张晓曦, 王赤, 曾钢, 等. 子午工程矩阵式管理模式探析[J]. 科技导报, 2020, 38(7): 12-19.
- [27] 中国电波传播研究所: 以科技报国为己任[EB/OL]. (2019-03-05) [2020-05-11]. <http://www.chinareports.org.cn/djbd/2019/0305/8114.html>.
- [28] 刘忠. 一米新真空太阳望远镜研制及其在太阳观测中的应用[J]. 云南科技管理, 2015(6): 78-79.
- [29] 颜毅华, 谭宝林, 陈志军, 等. 中国科学院国家天文台. 新一代厘米-分米波射电频谱日像仪——明安图射电频谱日像仪[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(Z1): 32-36.
- [30] Science Objectives and Observation System for the International Meridian Circle forum held at ISSI-BJ[EB/OL]. (2019-09-27) [2020-05-9]. [http://www.issibj.ac.cn/News/201909/t20190927\\_219429.html](http://www.issibj.ac.cn/News/201909/t20190927_219429.html).
- [31] International space weather and space climate medals [EB/OL]. [2020-05-06]. <http://www.stce.be/esw14/medals.php>.

## Comments on consolidated European approach to space weather

LI Ming, TANG Weiwei, FAN Quanlin

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

**Abstract** The space weather becomes a global challenge to the human society in the new era. Europe is heavily influenced by the space weather and makes much effort to address the threats of extreme space weather events. This paper reviews the space weather related programs and the ground-based and space-borne monitoring facilities that Europe has built independently or through international cooperation; focusing on the assessment and recommendations for a consolidated European approach to space weather—as a part of a global space weather effort, for enhancing the ability of Europe to respond to space weather risks and its contribution to the global space weather effort. Europe plays an important role of the global space weather effort. China and Europe can jointly contribute to creating a community of shared future for mankind.

**Keywords** space weather; China-Europe S&T Cooperation; International Meridian Circle Program ●



(责任编辑 王丽娜)