



## 和平利用外层空间委员会

### 关于联合国国际空间气象举措：前进方向的讲习班的报告

(2023年6月26日至30日，维也纳)

#### 一. 引言

1. 空间天气是太阳行为、地球磁场性质和大气层的共同作用的结果。从全球来看，人们日益有兴趣更好地了解日地相互作用，特别是空间天气的模式和趋势。这不仅是出于科学方面的原因，也是因为地面和空间的资产与基础设施的可靠运行越来越依赖于它们抵御空间天气有害影响的强健能力。
2. 2009年启动的国际空间气象举措是一项力求通过以下方式推进空间天气科学进行国际合作的方案，即部署诸如磁力计、太阳望远镜、甚低频监测器、全球导航卫星系统接收器和粒子探测器等仪器；对从这些仪器所获空间天气数据及其他数据展开分析并向公众、研究人员和学生介绍此类分析结果。
3. 全球导航卫星系统国际委员会（ICG）在该举措的工作中发挥了重要作用，全球导航卫星系统接收器被用于更好理解极端空间天气和日地相互作用造成的地球大气层动态过程以及这些过程对卫星的影响。
4. 关于该举措下国际合作与协调取得的所有成就的信息，包括与仪器、数据分析、建模、教育、培训和公共宣传有关的信息，可通过该举措电子时事通讯及其网站查阅（[www.iswi-secretariat.org](http://www.iswi-secretariat.org)）。该时事通讯由总部设在日本的 ArkEdge Space 公司每月出版一期，网站由美利坚合众国波士顿学院维护。此外，该举措主办了关于日地物理学相关专题的网络研讨会，这些研讨会已被录制并发布在外层空间事务厅的 YouTube 频道上（关于所录制内容的链接见 [www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/psa/bssi/iswi\\_webinars.html](http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/psa/bssi/iswi_webinars.html)）。
5. 联合国国际空间气象举措：前进方向的讲习班由外层空间事务厅组织和主办。该讲习班由 ICG、欧洲空间局和美国国家航空航天局（美国航天局）协办。它于 2023 年 6 月 26 日至 30 日在维也纳以混合形式举行。



6. 本报告介绍了讲习班的背景、目标和日程安排，并总结了参与者提出的意见和结论。编写本报告是为了提交给和平利用外层空间委员会第六十七届会议并且供其科学和技术小组委员会第六十一届会议审议，这两届会议都将于 2024 年举行。

## A. 背景和目标

7. 和平利用外层空间委员会将“空间天气”这一专题作为其 2013 年议程上的一个常设项目。国际空间气象举措作为该专题的一个要素，继续为空间天气仪器的部署、数据分析以及培训、教育和公共宣传方案提供支持。这些活动有助于拓宽现有仪器阵列，部署新的阵列，并将仪器阵列数据输入日光层过程物理模型，从而使空间天气预测成为可能。

8. 根据科学和技术小组委员会对题为“空间天气”的议程项目的审议情况（见 [A/AC.105/1279](#)，第 152 至 164 段），讲习班的目的是：**(a)**提高会员国对空间天气的影响的认识；**(b)**重点部署新仪器，特别是部署在发展中国家；**(c)**讨论分析空间天气数据的方法；**(d)**注重新的研究成果和发现；及**(e)**鼓励加强合作，发展仪器提供方和仪器管理方之间的伙伴关系。讲习班的讨论也与可持续发展目标有关。

## B. 日程安排

9. 在讲习班开幕式上，外层空间事务厅和美国航天局的代表致欢迎辞。美国航天局和奥地利格拉茨大学的代表做了主旨发言。

10. 讲习班日程安排包括八场技术会议以及关于意见和结论的讨论，随后由协办方致闭幕词。在技术会议上共作了 61 次专题介绍，这些介绍涉及以下领域的专题：**(a)**空间天气仪器和数据；**(b)**磁层—电离层—热层耦合；**(c)**使用低成本接收器系统进行空间天气监测；**(d)**空间天气建模；**(e)**空间天气对技术的影响；**(f)**空间天气研究；**(g)**国家和区域空间天气方案；及**(h)**空间天气案例研究。小组讨论为就空间天气仪器相关事项与涉及区域合作机制和项目实施资源的问题展开进一步审议创造了条件。

11. 每一场技术会议都重点讨论了专题介绍中提出的关键挑战和问题。在闭幕会议上总结和介绍了讨论结果，最后交换了意见并就结论取得一致意见。

12. 还为讲习班参与者组织了对 **GeoSphere Austria** 这一地质、地球物理、气候和气象全国性服务机构的技术考察。

13. 在讲习班的同时还举行了以“太阳耀斑和空间天气”为主题的网络研讨会，它是该举措系列网络研讨会中的第十二期研讨会。该网络研讨会更加深入地审视了空间天气的起源和当前对太阳耀斑的研究。

14. 日程安排由外层空间事务厅和一个国际科学组织委员会合作制定。为每场技术会议指定的主席和报告员均提供了评论意见和说明，作为编写本报告的参考资料。

15. 关于讲习班上所作的专题介绍、所提交论文的摘要、讲习班的日程安排和背景材料均可查阅外层空间事务厅网站（[www.unoosa.org](http://www.unoosa.org)）。

## C. 出席情况

16. 来自所有经济区域的发展中国家和工业化国家的科学家、工程师和教育工作者应外层空间事务厅的邀请参加了讲习班并为之作出贡献。参与者的甄选依据的是他们的科学、工程和教育背景及其在执行国际空间天气举措发挥主导作用的方案和项目方面的经验。该期讲习班的筹备工作由国际科学组织委员会和外层空间事务厅负责。

17. 联合国、全球导航卫星系统国际委员会和欧洲空间局出资支付来自 22 个国家的 24 名参与者的旅费、住宿费和其他费用。共有 228 名专家应邀出席了讲习班。

18. 以下 37 个会员国派代表亲自或在线参加了讲习班：阿根廷、奥地利、布基纳法索、加拿大、科特迪瓦、克罗地亚、埃及、埃塞俄比亚、法国、德国、加纳、希腊、印度、印度尼西亚、意大利、日本、哈萨克斯坦、肯尼亚、马来西亚、摩洛哥、缅甸、尼泊尔、尼日利亚、巴基斯坦、秘鲁、波兰、俄罗斯联邦、卢旺达、塞尔维亚、斯洛伐克、瑞士、泰国、土耳其、乌干达、大不列颠及北爱尔兰联合王国、美利坚合众国、赞比亚。外层空间事务厅的代表也出席了讲习班。

## 二. 意见和结论

19. 讲习班上所作主旨专题介绍概述了作为空间天气来源的太阳和空间天气在地球空间方面造成的后果。据指出，影响地球的太阳扰动是耀斑、日冕物质抛射和共转相互作用区域。太阳面向地球一侧的耀斑将会改变电离层电离水平，从而严重影响无线电波的传播并进而影响到全球导航卫星系统。同向旋转的相互作用区和日冕物质抛射在撞击到具有南向磁场分量的磁层上时可能引起地磁暴。讲习班上还概要介绍了空间天气领域的全球合作努力。

20. 参与者回顾，该举措继续在拓宽现有仪器阵列并部署新的仪器阵列，目前全世界有 19 个仪器阵列，部署了 1,000 多台仪器，它们记录了从日冕物质抛射到电离层总电子含量变化在内的日地相互作用方面的数据。

21. 参与者注意到，用于能谱学和移动式观测台的低成本低频率复合天文仪器频谱仪是一种电外差接收器。它在 45 和 870 兆赫之间运行，辐射带宽约 300 千赫。用于能谱学和移动式观测台的低成本低频率复合天文仪器（CALLISTO）阵列记录的数据是灵活的图像传输系统文件，高达每次鸣声 400 频率。数据通过 R232 电缆传输到计算机并在当地保存。积分时间为 1 毫秒，整体动态范围大于 40 分贝。CALLISTO 的许多仪器已经通过该举措的仪器部署方案部署到世界各地，所有光谱仪共同组成了 e-CALLISTO 网络。关于该网络和相关产品的信息可查阅该网络的网站（[www.e-callisto.org](http://www.e-callisto.org)）。

22. 参与者了解到低频阵列是一种多功能、高度创新的低频射电望远镜，它分布在欧洲，并在 10 至 240 兆赫之间运行。据指出，对电离层结构典型的低频阵列观测是基于无线电波引起的闪烁。电离层不规则性引起的闪烁量通常因无线电波频率而有所差异，在较低频率时达到较高值。初步结果表明，可以利用低频阵列观测甚高频闪烁以探测在中纬度电离层形成的等离子体结构。低频阵列项目的网站见 [www.astron.nl/telescopes/lofar](http://www.astron.nl/telescopes/lofar)。

23. 参与者审视了用户在访问和使用从该举措仪器中所获数据方面遇到的挑战和今后减轻这些挑战的方式。据强调称，需要进行协调以确保该举措仪器网络的持续运行，为了扩大数据的用途，需要开展合作，在数据记录方面采用诸如空间物理档案搜索和抽取联盟元数据标准等元数据标准。据指出，e-CALLISTO 及用于观测、建模和教育的大气天气电磁系统这两个仪器目前均已在空间物理档案搜索和抽取联盟注册。

24. 参与者注意到，2021 年在 ICG 信息传播和能力建设工作组下设立了利用低成本全球导航卫星系统接收器系统进行空间天气监测的项目小组，该小组由代表阿卜杜勒·萨拉姆国际理论物理中心、美国波士顿学院、东京大学和巴黎理工学院的专家组成。项目小组继续探索利用低成本接收器系统进行空间天气监测和实施原型系统的可能性。据指出，对高端的和低成本的全球导航卫星系统接收器进行的初步比较的结果表明，这两类系统在垂直总电子含量、总电子含量指数变化率和码相位闪烁方面具有类似的性能。

25. 参与者观察到，在近地空间物理学全球研究中，磁层-电离层耦合涵盖许多不同的主题，在这方面需要对许多不同的复杂现象进行探索。在空间天气方面，磁层过程与地磁活动以及至关重要的近地高能粒子环境直接相关。太阳风、磁层和电离层这三个系统相互作用，传递太阳风能量并将其转化为极光现象的能量，最终将大部分热能沉积到电离层中。

26. 关于空间天气建模，据指出，空间天气已成为空间物理学的一个关键部分，有几种用于各种空间天气的模型，包括关于太阳风和磁层、电离层甚至热层特征的模型。这些模型已被用于具体的案例。

27. 参与者了解了在对日冕物质抛射及其经由内日光层传播的建模中所采用的主要数值方法，并讨论了多个航天器对日冕物质抛射进行的遥感和现场观测之间的协同作用如何助力实现在日光层不同位置进行更准确可靠的预测。据指出，结合利用来自地面和空间的数据以及关于数据同化和摄取的不同技术，就有可能对展现电离层气候的经验模型加以调整，以更好匹配在地磁干扰条件下进行的观测。

28. 参与者还了解了对不同空间天气子域进行临近预报和预测的机器学习技术。讲习班上就基于机器学习的全球电离层预测模型做了解释，该模型可以在不同空间天气条件下提前 24 小时预测总电子含量。据指出，在长短期记忆、门控递归单元和卷积神经网络这三种不同的机器学习技术中，就运营服务而言，卷积神经网络模型具有更好的预测能力，即使在地磁干扰条件下也是如此，因此可以使用运算方式实施以用于空间气象应用和服务。

29. 参与者获悉，法国空间等离子体物理数据中心在检索来自航天器和太阳系探测器的数据方面向任何用户开放，并且还提供了一套用于观测地球空间的地面仪器。据指出，该数据中心正在不断改进其促进数据科学利用和今后空间飞行任务的数据传播的能力。为此，该数据中心正在开发促进数据提取和分析的工具和服务。所述数据由法国国家空间研究中心储存在其设在图卢兹的信息技术中心。有关数据中心的信息，请访问 <http://cdpp.eu>。

30. 参与者观察到，空间天气是可能导致全球导航卫星系统出误和中断的自然威胁之一。重大影响来自地球电离层。由于电离层的影响导致信号变慢，从而可能造成全球导航卫星系统出现从几米到几十米不等的定位误差。这些影响还可能导致相位

测量中的周跳，从而降低实时运动性能。通过测量电离层对全球导航卫星系统的信号的影响，可以计算出诸如总电子含量和闪烁参数（振幅和相位）等空间天气相关参数。

31. 参与者注意到扼要介绍这样一项任务的方法，即把多源全球导航卫星系统的数据和地磁数据汇聚成可用于使用统计方法和机器学习方法开发全球导航卫星系统电离层校正模型的单一数据集的任务。为落实该方法结合使用了在 R 环境下开发的统计计算定制软件和利用全球导航卫星系统对总电子含量进行估算的无偿提供的软件应用程序。已将演示所介绍的方法时汇集的数据开放以供国际科学界使用。

32. 关于空间天气研究的各项应用，讲习班上概要介绍了太阳高能粒子对空间天气的影响、其主要加速过程及其在行星际介质中的传输。讲习班上解释了可以激发太阳高能粒子的两种机制，即由太阳耀斑驱动的冲击和由日冕物质抛射驱动的冲击。讲习班上还介绍了德国航空航天中心关于中间层和低电离层坠落效应的分析项目，该项目旨在自动探测甚低频测量中的所谓“坠落效应”。迄今为止所作分析的结果表明，低中间层在秋季剧烈升温，该现象与集中于高纬度的太阳天顶角无关，从而肯定了占主导地位的大气内部动力学理论。

33. 参与者注意到，第 25 个太阳周期目前的活动高峰，即所谓的太阳活动高峰期，可能早于估计时间，并且大于估计强度。因此，预计太阳事件造成的干扰会增加。日冕物质抛射、高速流、太阳耀斑和太阳高能粒子事件均被描述为与空间天气有关的主要瞬态。举例说，太阳面向地球一侧的耀斑会改变电离层的电离水平，从而严重影响无线电波的传播，并进而可能影响全球导航卫星系统的信号。无线电波长中的耀斑发射可能会淹没雷达和卫星信号并影响它们的运行。

34. 关于国家空间天气方案和案例研究的会议让参与者还有机会交流其专业知识以期提高对空间天气事件及其潜在后果的认识。会上认识到，空间天气研究得益于以下方面的有效国际协调与合作：分享和使用现有观测资料；评估空间天气预报和分析的能力；推进知识、理论和建模；并且将研究进展应用于与空间天气有关的应用。

35. 作为讲习班的一部分，举行了以“举措的仪器”和“前进方向”为主题的两次小组讨论。这些会议的目的是讨论该举措仪器网络的现状，并找出在仪器类型和覆盖范围上的任何重大差距；发现在数据延续性、收集、分析和建模方面所存在的涉及仪器维护和数据流的问题；并就如何吸引处于职业早期发展阶段的科学家并给其他进行国际举措提供支持展开讨论。

36. 在小组讨论期间得出的关键结论内容如下：

(a) 应当汇总该举措仪器阵列提供的数据，并将其与天基数据及其他地面数据相融合，以便推进空间天气科学，从而能够取得内容扎实的研究成果并在国际刊物上发表科研论文；空间气象举措和全球导航卫星系统两团体应当在空间气象研究方面共享数据和展开协作；

(b) 该举措的空间科学学校和联合国关于该举措的年度讲习班今后应继续举办，以便对经验欠缺的研究人员进行仪器操作和太阳物理科学方面的培训。需要加强与国际科学组织之间既有的伙伴关系，以确保为所有会员国的利益而高效完成能力建设活动；

(c) 应通过该举措时事通讯及其网站和其他媒体向公众乃至整个科学界高效传播该举措活动产生的新知识。

37. 参与者获悉,《太阳和地圈》杂志将于 2023 年底出版一期关于太阳对磁层、电离层和大气层影响的特刊。参与者应邀向该期刊提交他们在空间天气和日地物理学方面的研究成果。

38. 参与者对联合国和协办方表示赞赏,感谢它们为讲习班提供了实质内容并做出出色的组织安排,从而使讲习班得以圆满结束。

---