



和平利用外层空间委员会

联合国/德国“国际空间天气举措：为太阳活动高峰期做好准备” 讲习班的报告

(2024年6月10日至14日，德国新施特雷利茨)

一. 导言

- 空间天气正在成为一个中心议题，需要改进和持续开展国际协调，以应对严重的空间天气事件，包括改进国际数据共享。还需要更先进的空间天气模型和预报工具以支持用户需求，并需要协调空间天气模型产出和预报的共享和传播。
- 国际空间天气举措于2009年发起，该举措使科学家能够利用全球导航卫星系统数据开展空间天气研究。这些数据使来自不同学科（如地震学以及电离层和大气层研究）的科学家聚集在一起，在空间天气领域开展工作，并使得有可能将日地关系的基本物理学用于日常生活中的应用，这对决策者非常重要。
- 2005年设立的全球导航卫星系统国际委员会（导航卫星委员会）在该举措的工作中发挥了重要作用，因为地磁暴、太阳耀斑和电离层不规则结构可导致全球导航卫星系统的定位、导航和定时准确性下降。与此同时，来自全球导航卫星系统台站的现有数据对于评价电离层对磁暴的反应和空间天气的其他影响的各个方面十分宝贵。
- 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成就的信息，可通过该举措电子时事通讯及其网站（www.iswi-secretariat.org）查阅。
- 联合国“国际空间天气举措：为太阳活动高峰期做好准备”讲习班由外层空间事务厅在德国航空航天中心的支助下组办。讲习班于2024年6月10日至14日在德国新施特雷利茨举行。这期讲习班的协办方是导航卫星委员会。
- 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得出的结论。编写本报告是为了提交给和平利用外层空间委员会第六十八届会议并且供其科学和技术小组委员会第六十二届会议审议，两个会议均于2025年举行。



A. 目标

7. 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.105/1307，第 132 至 143 段），讲习班的目标是：(a) 注重新仪器的部署，特别是在发展中国家；(b) 讨论分析空间天气数据和解读数据的方法；(c) 注重新的研究成果和发现；以及 (d) 加强空间天气产品和服务方面的国际协调与合作。

8. 讲习班的讨论也与《2030 年可持续发展议程》和可持续发展目标中的一些具体目标有关。讨论的专题和相关目标如下：

(a) 继续开展空间天气教育工作，以便更好地定义和描述严重空间天气事件及其发生概率，并评估其对技术系统的影响（目标 4：优质教育）；

(b) 空间天气研究有助于通过预防地基和天基关键基础设施以及天基服务的灾难性中断，特别是在严重空间天气事件期间，促进可持续发展（目标 9：产业、创新和基础设施）；

(c) 对业务使用的空间天气服务进行国际协调，包括监测、预报和提高认识，总体目标是保护生命、财产和关键基础设施（目标 17：促进目标实现的伙伴关系）。

B. 日程安排

9. 在讲习班开幕式上，外层空间事务厅主任以及德国梅克伦堡—前波莫瑞州科学和研究机构、德国航空航天中心和美利坚合众国国家航空和航天局（美国航天局）的代表以及德国新施特雷利茨市市长致了欢迎辞。

10. 德国代表作了关于“太阳活动与电离层天气”的主旨发言，重点是太阳活动与地球电离层之间的耦合关系，及其对无线电波传播的影响，100 多年来在新施特雷利茨一直在探讨这一专题。据指出，电离层过程是空间天气这一复杂领域的一个基本组成部分，了解这些过程并对其建模对于减轻空间天气对现代技术基础设施的影响十分重要。强调国际空间天气举措是国际太阳物理年的一项后续活动，该举措创造了新的机会，有助于更好地了解日地关系和空间天气对日常生活的影响。

11. 讲习班日程安排包括 11 场技术会议以及关于意见和结论的讨论，随后由共同组织方和参与者致闭幕词。在技术会议上共展示了 18 幅海报，作了 52 场专题介绍，涉及以下专题：太阳喷发及其在太阳上的来源和对地球空间（磁层、电离层、大气层和地面）的影响；耀斑及其对电离层/大气层的影响，太阳耀斑和日冕物质抛射之间的关系；空间天气极端事件；空间天气教育和宣传的工具和方法；与流相互作用区有关的冕洞和高速流；太阳能量粒子及相关现象，例如日冕和行星际射电暴；电离层不规则结构及其对全球导航卫星系统的影响，以及航天器异常；由于日冕物质抛射和流相互作用区而引起的地磁暴和辐射带变化；使用包括机器学习在内的各种技术进行空间天气预测；空间天气仪器；以及空间天气的业务使用。

12. 海报和讨论会使参与者有机会讨论与空间天气有关的具体问题和项目，特别是仪器阵列及其运行和协调状况，以及空间天气数据的实际应用。

13. 还为讲习班参与者组织了一次内容丰富的技术博物馆技术参观。

14. 讲习班日程安排由外层空间事务厅、德国航空航天中心、美国航天局和一个国际科学组织委员会合作制定。为各技术会议指定的主席和报告员提供了评论意见和说明，作为对编写本报告的投入。

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)。

C. 出席情况

16. 来自所有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实施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。

17. 联合国和导航卫星委员会提供的资金用于支付来自 20 个国家的 23 名参与者的差旅、食宿及其他费用。共有 80 名专家应邀出席了讲习班。

18. 以下 31 个会员国派代表亲自或在线参加了讲习班：阿根廷、奥地利、巴西、加拿大、中国、科特迪瓦、捷克、芬兰、法国、德国、加纳、希腊、印度、印度尼西亚、意大利、日本、肯尼亚、尼泊尔、尼日利亚、挪威、巴基斯坦、大韩民国、卢旺达、塞尔维亚、南非、斯里兰卡、泰国、土耳其、乌克兰、大不列颠及北爱尔兰联合王国和美利坚合众国。外层空间事务厅的代表也出席了讲习班。

二. 意见和结论

19. 讲习班参与者指出，日冕物质抛射是磁化等离子体从太阳低层大气层向行星际空间的大规模喷射。它们与经常伴随的耀斑一起，是太阳系中最大的能量释放过程，也是地球和其他行星上空间天气扰动的主要驱动力。因此，已知日冕物质抛射会造成最严重的空间天气影响，例如可能感应输电线中的电流、从而可能导致广泛的电网故障和基础设施损坏的地磁暴。地磁暴还可能改变全球导航卫星系统的信号，导致准确性下降。因此，深入研究以更好地了解空间天气这一复杂的跨学科领域的物理过程，对于保障空间和地球上的技术、基础设施和人类活动至关重要。

20. 讲习班指出，由于日冕物质抛射复杂多变的性质，而且缺乏对背景太阳风本身的准确测量，因此预测日冕物质抛射的影响仍然具有挑战性。包含实时太阳风数据和详细磁场测量的先进日冕和日光层模型对于改进预测至关重要。此外，在美国航天局帕克太阳探测器和欧洲航天局（欧空局）太阳轨道飞行器等飞行任务中收集的数据将提供关于近太阳环境的详细信息，从而增进对日冕物质抛射的启动过程以及与太阳风相互作用的了解。

21. 讲习班指出，太阳黑子是在太阳表面观察到的暂时性暗区，由于其温度低于周围地区，因此看起来很暗，这些结构表明存在强磁场。太阳黑子活动与耀斑活动之间的关系以及太阳耀斑的物理原理已成为一个重要问题，因为这些活跃现象会对空间天气产生影响。了解太阳耀斑及相关活动非常重要，因为这种了解为预测空间天气提供了一种工具，空间天气影响行星际空间和地球高层大气，从而影响天气系统。

22. 讲习班参与者注意到不同类型的太阳黑子如何与不同程度的太阳活动相关联。讨论涉及耀斑强度的分类及其与不同太阳活动强度分类的关系。据指出，太阳黑子群有两种不同的分类方法，一种是根据其形态和演变进行分类（经修改的苏黎世分类），另一种是根据太阳黑子群的磁特性进行分类（威尔逊山磁分类）。还指出，威尔逊山太阳黑子群磁性分类可作为主要预测因子，以建立更合理的太阳耀斑预测模型。
23. 讲习班参与者注意到，极端空间天气事件被认为是极端太阳耀斑和日冕物质抛射形式的始于太阳的影响大、概率低的事件。参与者注意到太阳物理学大年，这是一个关于太阳科学和太阳对地球及整个太阳系的影响的全球庆祝活动，并注意到其 2024 年和 2025 年的活动，这些活动将侧重于研究可能引发重大至极端空间天气事件的太阳至地球空间元素。
24. 讲习班参与者注意到空间研究委员会（空间研委会）国际空间天气行动小组（空间天气行动小组）举措，该举措是开展协作应对空间天气领域各种挑战的全球中心。空间天气行动小组 S2-01 小组的目标之一是研究和比较不同的自动冕洞探测方案，并制定战略来定量评估冕洞边界位置的不确定性。还指出已提供一套日冕图像数据集以供分析（<https://iswat-cospar.org/S2-01>）。
25. 讲习班参与者了解到，社区协调建模中心是一个机构间研究伙伴关系，目的是支持生成先进的空间科学和空间天气模型，该中心正在提供一种机制，通过该机制可以验证、测试和改进研究模型，以用于空间天气预报。该中心还提供大量最先进的研究模型。不断扩展的模型集包括从日冕到地球高层大气等所有科学领域的模型。这项科学服务是通过网络提供的（<http://ccmc.gsfc.nasa.gov>）。
26. 讲习班参与者还了解了非洲赤道地区基于软件定义无线电的低成本电离层探测仪取得的首批成果。据指出，比较表明，在确定主要电离层参数的可靠性、灵活性和准确性方面，基于软件定义无线电的低成本、低功率电离层探测仪的性能水平相当于或高于该区域现有的常规电离层探测仪。
27. 讲习班参与者注意到，日珥喷发可能对日地环境产生重大影响。据指出，数据分析表明日珥高度增加与振荡周期之间存在相关性，表明可能与日地关系观测站台航天器观测到的后续喷发有关。因此，这些发现为日珥动力学提供了新的见解，并可能为改进喷发预测铺平道路，有助于未来的空间天气预报。
28. 讲习班参与者注意到，造成空间天气对全球导航卫星系统潜在影响的主要电离层现象包括：电离层总电子含量出现巨大梯度、引发信号振幅和（或）相位快速变化(闪烁)的电离层不规则结构，以及太阳射电爆发或太阳耀斑导致的背景噪声或总电子含量突增。已利用牧歌数据库（<http://cedar.openmadrigal.org/>）中提供的全球导航卫星系统总电子含量观测结果证明了这些现象。现在每天都下载和处理来自 6,000 多个全球导航卫星系统站点的信息。该数据集已被用于监测电离层的风暴增强密度特性、太阳耀斑、地磁脉动、极光结构、平流层升温和汤加火山爆发。
29. 此外，牧歌数据库现已纳入从全球导航卫星系统专用闪烁接收器网络收集的闪烁观测数据。目前，2023 年和 2024 年的全部闪烁数据可在网上查阅。该数据库包含来自各种网络的数据，其中包括阿拉斯加和加拿大空间极光天气观测仪开发网络、加拿大高北极电离层网络、低纬度电离层传感器网络以及意大利国家地球物理和火山学研究所网络。

30. 讲习班参与者注意到，为了向第二代欧洲卫星增强系统（EGNOS V3）的发展提供相关投入，建立了一个广泛的全球分布接收器网络，以分析总电子含量和闪烁数据。此外，还试图记录来自低纬度和高纬度地区的严重闪烁事件的数据流。然后，这类数据流可以用作全球导航卫星系统不同接收器的示例场景，以测试它们相对于强相位和幅度闪烁的稳健性。

31. 讲习班参与者还注意到，国际空间天气举措由 19 台仪器组成，其中德国有两台：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）和全球电离层耀斑探测系统（GIFDS）。注意到德国航空航天中心在新施特雷利茨运行着几个 CALLISTO 接收器（10-80 兆赫、100-800 兆赫和 1,000-1,600 兆赫）以及 GIFDS 接收器，用于监测太阳射电爆发和太阳耀斑。强调原始接收器在硬件和软件方面得到了进一步开发，以尽量减少噪声和简化维护工作，从而可以观察到不同传播路径的情况。其结果是开发了带有内置屏幕和个人计算机的紧凑型接收器，从而为广泛的空间天气事件分析奠定了基础。

32. 讲习班参与者注意到，一些 CALLISTO 光谱仪部署在世界各地，共同构成了 e-Callisto 网络。来自各个仪器的数据通过文件传输协议自动上传到瑞士西北应用科学与艺术大学的中央服务器，并连同 CALLISTO 技术文件可在（www.e-callisto.org/）上查阅。

33. 讲习班参与者讨论了使用传统方法进行空间天气预报的问题，以及使用机器学习技术查明和描述影响空间天气的各种现象的优点。

34. 关于业务使用的空间天气，指出空间天气研究和技术应用卓越中心将使用计算机模型模拟空间天气扰动，并使用实验、人工智能和机器学习开发解决方案，以帮助改进卫星和其他导航技术在不利条件下的性能。

35. 还注意到，欧空局空间天气服务网络正在联合服务提供模式的基础上为航天器运行提供运行前服务，向最终用户提供关于当前和即将出现的空间天气条件的范围非常广泛的产品和信息，以及事后分析支持。这是与欧空局分布式空间天气传感器系统通过欧空局空间天气门户网站（<https://swe.ssa.esa.int>）提供的第一批数据一起提供的。

36. 讲习班的讨论有助于查明：(a) 仪器类型和覆盖范围方面的任何重大差距；(b) 在数据连续性、收集、分析和建模方面存在的仪器维护和数据流问题；以及(c) 如何吸引处于职业早期发展阶段的科学家并为其他进行中的国际空间天气举措提供支持。

37. 讲习班参与者一致认为，应当通过建模和测量将来自国际空间天气举措仪器阵列的数据与地基数据和其他地基数据相融合，以便推进空间天气科学，从而取得内容扎实的研究成果并在国际刊物上发表科研论文。还一致认为，空间天气和全球导航卫星系统两团体应当在空间天气研究方面共享数据和展开协作。

38. 应当利用会员国在和平利用外层空间委员会框架下提供的支持，继续作出努力，以便实现可靠的空间天气预报这一目标，同时使整个空间科学界特别是空间天气界参与其中。

39. 讲习班参与者提出了以下建议：

(a) 应继续向希望参与空间天气科学和教育的国家提供能力建设和技术指导；

(b) 应进一步拓宽与能力建设实体和联合国内部活动建立持续的伙伴关系的机会；

(c) 应当促进加强国际合作，以满足当前和未来对空间天气服务的需要，并应当酌情在外层空间事务厅的支持下建立一个自愿参与的协调机制。

40. 为了促成在空间天气研究和服务方面开展有效的国际协调与合作，不应当在数据流动和通信方面存在任何障碍。为此，应在国家一级促进一项开放数据政策，连同业务规则和数据标准。

41. 讲习班获悉，讲习班的会议记录将由施普林格出版公司出版。讲习班会议记录将突出强调全球空间天气研究的现状，特别是在发展中国家。邀请所有参与者向会议记录的编辑人员提交他们在空间天气领域的研究成果。

42. 讲习班注意到尼日利亚提议主办 2025 年讲习班。还注意到大韩民国有兴趣主办 2026 年讲习班。

43. 讲习班参与者感谢联合国、德国航空航天中心、协办方和科学组织委员会为讲习班提供了实质内容并作出出色的组织安排，从而使讲习班得以圆满结束。