

国际上的空间天气计划与活动

郭建广 张效信

(国家卫星气象中心/国家空间天气监测预警中心, 中国气象局, 北京 100081)

摘要: 随着科技的发展和进步, 越来越多的国家和国际组织已经认识到空间天气的重要性。回顾了近些年来不同的国家和组织在空间天气领域开展的计划与活动, 主要包括空间天气的一些地基和地基探测计划, 以及相关的国际合作情况, 最后简单介绍中国空间天气方面所做的努力。

关键词: 空间天气, 空间天气灾害, 空间天气计划与活动, 国际空间天气组织

The International Space Weather Projects and Activities

Guo Jianguang, Zhang Xiaoxin

(National Satellite Meteorological Center /National Center for Space Weather, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract: With the development of science and technology, more and more organizations and countries have recognized the importance of space weather. This paper reviews the activities of some organizations and countries related to space weather in recent years, including space-based and ground-based observation projects and the international cooperation. A brief description of China's effort in space weather is also given in the paper.

Key words: space weather, space weather hazard, space weather project and activity, international space weather organization

1 引言

“空间天气”(Space Weather)一词最早出现于20世纪70年代前后^[1], 如同大气中的千变万化, 太空中也存在着“空间天气”。空间天气是指可以影响地基和地基技术系统并危及人类生活和健康的太阳、整个空间, 以及地球磁场和高层大气的各种状态。恶劣的空间天气可引起卫星运行、通信、导航以及输电网络的崩溃, 给人类活动带来巨大损失, 例如: 1989年3月发生历史上罕见的空间灾害性天气事件, 造成卫星提前陨落, 无线电通信中断, 轮船、飞机的导航系统失灵, 美国核电站变压器烧毁, 加拿大北部电网烧毁等, 引起国际社会的震惊。2009年1月, 美国科学院发布报告警示, “一旦类似1859年的超级太阳风暴来袭, 我们根本无力应对”^[2]。随着人类科技的不断进步, 人类活动依赖的技术系统对空间天气的脆弱性也极大地增长起来。

美国于1995年率先制定“国家空间天气战略计划”, 随后于1997年、2000年发布美国“国家空间天气执行计划”, 2010年又发布了新版的“国家空间天气战略计划”, 延续和扩充1995年的计划, 应对即将

到来的太阳活动高年^[3-5]。欧空局(ESA, European Space Agency)根据欧盟国家的特点, 以市场为导向, 主持制定了欧洲空间天气计划, 而法国、德国、英国、意大利、俄罗斯、加拿大、瑞典、日本、澳大利亚等数十个国家也都制定了各自的空间天气计划。中国于1999年由国家科技部等10个部委提出“国家空间天气战略规划建议”, 将空间天气作为中长期科技发展规划和基础学科重要的优先发展领域之一。

一些国际组织也开始进入空间天气领域, 如空间研究委员会(COSPAR, The Committee on Space Research)成立相应的空间天气小组(Panel on Space Weather), 国际科学协会理事会(ICSU, International Council of Scientific Unions)所属的日地物理科学委员会(SCOSTEP, Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics)也设立了空间天气科学与应用专题委员会, 特别是世界气象组织(WMO, World Meteorological Organization)也意识到空间天气的重要性, 成立国际空间天气计划协调组(ICTSW, The Inter-Programme Coordination Team for Space Weather), 并开始组织协调空间天气事务。

2 国际空间组织开展的空间天气计划与活动

2.1 国际空间环境服务机构(ISES)

国际空间环境服务机构(ISES, International Space Environment Services)是天文与地球物理数据

收稿日期: 2011年8月31日; 修回日期: 2011年10月8日
第一作者: 郭建广(1978—), Email: guojg@cma.gov.cn
通讯作者: 张效信(1963—), Email: xxzhang@cma.gov.cn
资助信息: 财政部气象行业专项“空间天气定量化预报技术及其集成”(GYHY200806024)

分析服务联盟 (FAGS, Federation of Astronomical and Geophysical Data Analysis Services) 在国际无线电科学联盟 (URSI, International Union of Radio Science) 与国际天文联盟 (IAU, International Astronomical Union) 和国际大地测量和地球物理联盟 (IUGG, International Union of Geodesy and Geophysics) 的联合资助下的常设服务机构, 其主要目的是推动和促进全球空间环境准实时的监控和预测。ISES 目前拥有 13 个区域预警中心 (RWC, Regional Warning Center), 分别位于中国、美国、俄罗斯、印度、加拿大、捷克、日本、澳大利亚、瑞典、比利时、波兰、南非和巴西 (图1), 而位于法国的联合预警中心为客户提供专业服务, 并通过比利时区域预警中心成为会员之一。中国区域警报中心 (RWC-China) 设于北京天文台, 1992 年加入 ISES, 原为中国科学院有关单位联合电子工业部电波所、北京大学和武汉大学有关院系成立的日地物理预报中心, 其原称为 RWC-Beijing。

ISES 有三项基本的职能, 分别为: (1) 国际科技资料传送服务中心通过 RWC 提供标准化空间天气信息和预报的快速自由的交换; (2) ISES 每年将筹备国际地球物理日历 (IGC, International Geophysical Calendar), 国际地球物理日历给出了科学家们被鼓励开展一系列实验的“世界日”列表; (3) 每月空间预警公报将概括卫星在地球轨道和行星际轨道中所处的状态 (<http://www.ises-spaceweather.org/>)。

2.2 空间研究委员会 (COSPAR)

COSPAR 于 1958 年 10 月成立, 隶属于 ICSU, 其成立的初衷是: 在共同合作的基础上, 为了共同的科学目的, 将研究各类卫星和空间探测器的方法提供给世界科学团体。

COSPAR 是一个多学科性的科学组织, 在国际范围内通过学术交流和组织实施国际研究项目, 其项目涉及到火箭、飞船、高空气球等各个空间研究领域。COSPAR 的主要学术活动中, 规模最大、涉及学科领

域最广的是两年一届的空间科学大会, 与国际宇航大会、世界数学家大会齐名, 大约有 80 个研讨会和专题学术会, 参加人数 1500~2000 人左右。我国自 1993 年 3 月 1 日正式加入 COSPAR, 还曾于 2006 年 7 月承办了第 36 届空间科学大会。COSPAR 与 ICSU 联合创办了期刊《空间研究进展》(*Advance in Space Research*), 主要侧重于报道空间科学的最新研究成果, 涉及气象、气候、地—月系统、行星及太阳系小天体等, 其文章多来自 COSPAR 举办的各种会议。此外 COSPAR 还在发展中国家组织了一系列的能力建设培训班, 目的是在 COSPAR 感兴趣的领域传播实用的知识, 加强发展中国家在空间科学领域的的能力, 曾在中国举办过“磁层多卫星探测的数据分析” (2004 年, 中国北京) 和“月球和行星表面科学” (2009 年, 中国哈尔滨) 两个培训班。

2.3 日地物理科学委员会 (SCOSTEP)

SCOSTEP 是隶属 ICSU 的又一国际空间天气组织, 它的前身是日地物理联合会间委员会 (IUCSTP, Inter-Union Commission on Solar-Terrestrial Physics), 成立于 1966 年, 1972 年改为日地物理特别委员会, 1973 年定名为日地物理科学委员会, 即 SCOSTEP, 2010 年 5 月起其秘书处设在加拿大约克大学。中国空间科学学会自 1990 年起, 作为团体会员加入 ICSU 下属的 SCOSTEP。

SCOSTEP 主要与加入 ICSU 的机构合作, 协调和组织国际间的日地空间物理计划, 曾经实施过“国际地球物理年” (IGY, International Geophysical Year: 1957—1958)、国际宁静太阳年 (IQSY, International Quiet Sun Year: 1964—1965)、国际磁层研究 (IMS, International Magnetospheric Study: 1976—1977)、极大太阳年 (SMY, Solar Maximum Year: 1979—1981)、中层大气计划 (MAP, Middle Atmosphere Program: 1982—1985), 以及国际日地能量传输计划 (STEP, Solar-Terrestrial Energy Program: 1990—1997)。其中 IGY 是世界各国第一次对地球物理现象进行联合规模观测, 有包括中国在内的 67 个国家参加, 共同对南北两极、高纬度地区、赤道地区和中纬度地区进行了全球性的联合观测, 涉及的科学研究内容包括气象学、地磁和地电、极光、气辉和夜光云、电离层、太阳活动、宇宙线与核子辐射、经纬度测定、冰川学、海洋学、重



图1 ISES区域预警中心地理分布^[6]

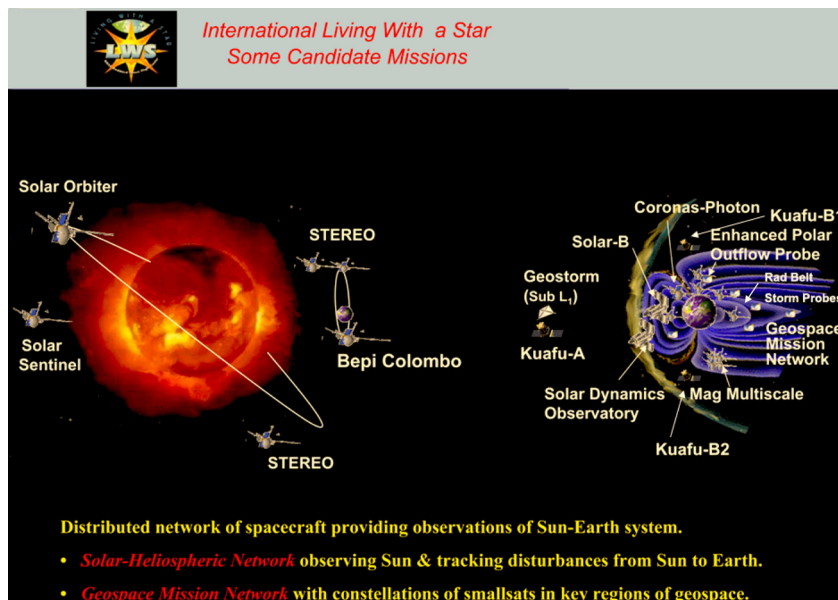


图2 ILWS中部分备选的卫星计划^[7]

力测定、地震、火箭与人造卫星探测13个项目。而STEP则是20世纪90年代国际上规模最为宏大的国际合作计划，包括美国、前苏联、日本等数十个国家和地区20多颗探测卫星参加^[6]。目前正在执行的是日地系统空间气候和天气计划（CAWSES, Climate and Weather of the Sun-Earth System），旨在从整体的角度研究日地空间系统，目前该计划已进入第2期（CAWSES II: 2009—2013）。

2.4 国际空间局协调组（IACG）

到了20世纪最后两个十年中，各空间大国在国内和国际上开展了一系列日地空间联合观测与研究的大规模合作。由美国国家航空航天局（NASA, National Aeronautics and Space Administration）、ESA、日本的宇宙科学研究所（ISAS, Institute of Space and Astronautical Science of Japan）和前苏联科学院宇宙理事会（Intercosmos Council of the Soviet Academy of Sciences，后为俄罗斯航空航天局，RASA, Russian Aviation and Space Agency）组成的国际空间局协调组（IACG, The Inter-Agency Consultative Group），组织和协调了规模空前的空间探测计划，国际日地物理计划（ISTP, International Solar-Terrestrial Physics），该计划的主要科学目标是：将日地空间作为一个整体系统，在日地空间发射多颗卫星，如太阳和日球层探测器（SOHO, Solar and Heliospheric Observatory, 1995年12月发射升空）、星簇计划（Cluster II, 2000年7月和8月发射升空），对日地系统连锁变化的物理过程进行探测和研究。2002年IACG又提出了被称为人类21世纪前20年最大规模的，有数十颗

卫星参与的国际空间合作探测计划——“国际与太阳同在”（ILWS, International Living With a Star），几乎涉及了所有与卫星有关的国家，该计划旨在系统探测从太阳到地球之间的各种空间活动，图2给出了ILWS计划中的部分探测卫星计划，包括日地关系天文台（STEREO, Solar Terrestrial Relations Observatory, 2006年10月发射升空）、太阳动力学观测卫星（SDO, Solar Dynamics Observatory, 2010年2月发射升空）、辐射带风暴探测卫星（RBSP, Rad Belt Storm Probes, 预计2012年发射）、磁层多尺度卫星（MMS, Mag

MultiScale, 预计2014年发射）等计划^[7]。

2.5 国际地磁学和高空大气学协会（IAGA）

IUGG下属的国际地磁学和高空大气学协会（IAGA, International Association of Geomagnetism and Aeronomy）也是一个国际性的空间天气组织，成立于1919年，当时为IUGG的地磁和地电组，1930年改为国际地磁和地电协会（IATME, International Association of Terrestrial Magnetism and Electricity），1954年改为国际地磁学和高空大气学协会，即IAGA，主要是为了促进地磁学和高空大气学方面的国际合作与研究，涉及的领域包括地球内部、中高层大气、电离层和磁层，以及太阳、太阳风、行星和行星际天体等，除此之外，台站、仪器、指数和数据等内容也是IAGA关注的范围。

IAGA制作发布的国际地磁参考场（IGRF, International Geomagnetic Reference Field）以及世界磁场异常分布图（WDMAM, World Digital Magnetic Anomaly Map），在地球内部、地壳、电离层和磁层等领域中有着非常广泛的应用，而空间天气领域中常用的表征地球磁场活动水平的地磁指数，如Kp和Dst等指数，也是IAGA的主要出版物。此外，IAGA还定期举办科学大会，研讨最新的科研进展，促进国际间的科学合作（<http://www.iugg.org/IAGA/>）。

2.6 联合国和平利用外层空间委员会（COPUOS）

目前联合国中涉及空间天气事务的主要机构是联合国和平利用外层空间委员会（COPUOS, United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space），现有包括中国在内的69个成员国，秘书处设在维也纳。COPUOS的宗旨是制定和平利用外空的

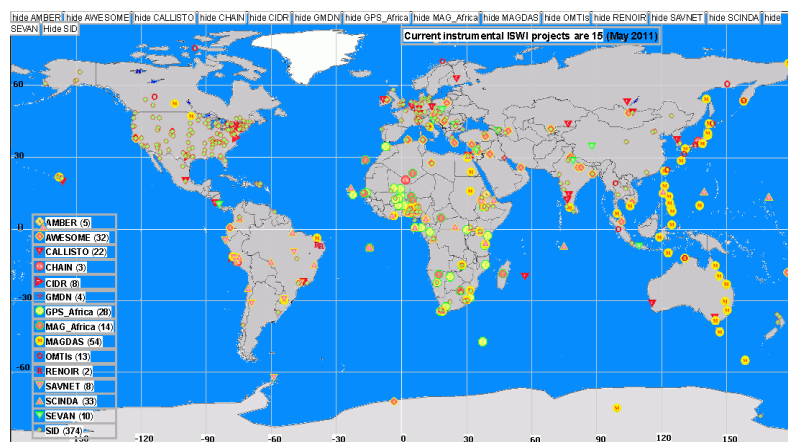


图3 加入ISWI的空间天气监测计划的分布情况

原则和规章，促进各国在和平利用外空领域的合作，研究与探索和利用外空有关的科技问题和可能产生的法律问题。COPUOS在空间天气领域的经常性活动有：研究并促进空间减灾、远程教育、气象、通信、导航、直接广播和遥感地球资源等各种卫星的国际合作；举办国际、区域和区域间的研究会议及讨论会和讲习班；促进外层空间研究的情报交换等。国际日球物理年（IHY，International Heliophysical Year），

表1 加入ISWI的空间天气监测计划

序号	国家	项目名称
1	美国	非洲赤道电动力学研究GPS网 African GPS Receivers for Equatorial Electrodynamics Studies (AGREES)
2	法国	非洲双频GPS网 African Dual Frequency GPS Network (AMMA)
3	美国	非洲子午圈地磁场变化研究 African Meridian B-field Education and Research (AMBER)
4	美国	用于监测和建模的大气层天气教育系统以及电离层骚扰监测系统 Atmospheric Weather Education System for Observation and Modeling of Effects, SID, Sudden Ionospheric Disturbance Monitor (AWESOME)
5	瑞士	用于能谱学和移动式观测台的低成本低频复合天文仪器 Compound Astronomical Low-cost Low-frequency Instrument for Spectroscopy and Transportable Observatory (CALLISTO)
6	日本	H α 单色成像监测网 Continuous H-alpha Imaging Network (CHAIN)
7	美国	电离层相干多普勒雷达 Coherent Ionospheric Doppler Radar (CIDR)
8	日本	全球介子探测网 Global Muon Detector Network (GMDN)
9	日本	磁场数据获取系统 Magnetic Data Acquisition System (MAGDAS)
10	日本	中层和热层光学成像仪 Optical Mesosphere Thermosphere Imager (OMTIs)
11	美国	赤道区夜间电离层遥感监测系统 Remote Equatorial Nighttime Observatory for Ionospheric Regions (RENOIR)
12	巴西	南美洲电离层甚低频监测网络 South America Very Low Frequency Network (SAVNET)
13	美国	电离层闪烁辅助监测网 Scintillation Network Decision Aid (SCINDA)
14	亚美尼亚	空间环境监测和分析网络 Space Environment Viewing and Analysis Network (SEVAN)
15	以色列	超低频/极低频/甚低频监测网 ULF/ELF/VLF network

是COPUOS组织的具有里程碑意义的国际科学合作计划，来自70多个国家的数千名科学家参与其中，其主要目标是增进对太阳与地球大气层之间耦合过程的理解，提高国际社会对太阳以及空间天气的认知程度，促进国际间空间天气的合作研究。自IHY后，COPUOS又发起国际空间天气起步计划（ISWI，The International Space Weather Initiative），继续推动太阳对近地空间环境的影响研究，表1给出了截止到2011年5月加入ISWI的15个空间天气监测计划，其分布

见图3 (<http://www.stil.bas.bg/ISWI/Projects/>)。

2.7 国际空间天气计划协调组 (ICTSW)

空间天气从高度上看，可视作传统气象的延伸。实际上，空间天气不仅对气象卫星有着直接影响，更重要的是与气象观测、模拟和服务发布等WMO机构之间存在着潜在的巨大协同作用，WMO可以在协调需求、观测、数据格式和信息交换等操作问题的国际合作方面提供足够的平台，并且WMO在与各应用领域用户交互方面的经验可以给空间天气服务以重要的启示，尤其WMO与国际民航组织（ICAO，International Civil Aviation Organization）和国际电信联盟（ITU，International Telecommunication Union）之间的联系有助于引导航空和通信部门的空間天气服务。

2007年6月15日，WMO收到一封ISES的来信，信中明确表达了ISES希望与WMO合作的意愿。2008年6月，WMO通过了ISES提交的《WMO在空间天气领域的潜在作用》报告，认为空间天气对气象基础设施和重要人类活动具有相当大的影响，并且预计在即将到来的太阳活动周期中，这一影响将会增加，同时也认识到气象与空间天气服务之间的潜在的协同作用^[8]。2010年5月3日WMO正式成立ICTSW，其目的是指导和协调国际间的空间天气活动，推动空间天气在国际间的合作，特别是促进与ISES之间的合作。

ICTSW目前的成员有13个，分别是澳大利亚、比利时、巴西、加拿大、中国、哥伦比亚、埃塞俄比亚、芬兰、日本、韩国、俄罗斯、英国和美国。2011年5月在日内瓦召开的第16次世界气象大会空间天气边会、卫星高层论坛会议以及空间活动计划会议中，空间天气被确定为WMO的未来工作重点之一。

ICTSW的主要职能包括以下4点：

(1) 通过WMO信息系统(WIS, WMO Information System)实现空间天气资料交换和提供的标准化，并加强这种交换和提供；

(2) 通过与航空及其他主要应用部门的互动，协调确定最终产品和服务，包括质量保障指南和应急事件警报程序；

(3) 通过审议地基和地基观测需求、协调传感器规范，以及监督空间天气观测计划，对空间天气观测进行整合；

(4) 鼓励在空间天气研究团体与业务机构之间开展合作交流。

ICTSW已经向WMO所有成员就空间天气活动征求意见，同时向多个组织机构发出邀请，开展合作交流。目前已经和ICAO、国际海事组织(IMO, International Maritime Organization)、ITU、ISES、OOSA(United Nations Office for Outer Space Affairs, 外太空事务办公室)/联合国和平利用外层空间委员会进行了实质性的合作。

ICTSW目前的工作是确定空间天气观测的核心需求，主要是讨论来自WMO成员的空间天气观测需求的反馈意见，确认提交给WMO的空间天气观测需求。尽管ISES的各个区域预警中心已经有部分业务运行产品和观测需求，但来自其他不同组织和不同用户的观测需求和服务需求也在考虑范围之内。一旦确认了空间天气观测的核心需求，将会选取适当的空间天气观测参量，进行空间天气观测与WMO信息系统之间的整合测试，以便借助WMO在信息共享、传播方面的经验，通过WIS实现空间天气资料交换和提供的标准化，在WMO的多灾种活动框架内(context of multi-hazard WMO activities)发布应急事件警报和保障服务。

3 不同国家的空间天气计划与活动

3.1 美国

美国的“国家空间天气战略计划”是一项跨机构的联邦计划，有8个不同的联邦下属组织和机构参与，包括商务部、国防部、内政部、能源部、运输部、国务院、NASA和国家科学基金委(NSF, National Science Foundation)。

在“国家空间天气战略计划”的指导下，美国的空间天气发展迅速，初步建立起完整的空间天气监测、预报和服务体系，空间天气服务广泛而深入。美国的空间天气服务主要由NOAA下属的空间天气预报中心(SWPC, Space Weather Prediction Center, 原空间环境中心, SEC, Space Environment Center)和隶属美国国防部的空军气象局(AFWA, Air Force Weather Agency)提供，两者紧密合作，分别满足民用和军用的需求。2005年，SWPC正式加入国家天气局(NWS, National Weather Service)，空间天气已经正式成为日常气象服务的一部分，目前SWPC空间天气产品的时间尺度涵盖了实时、短期(2~5天)、周、月、季，内容包括空间天气的各种指数预报和警报，逐日空间天气事件的实况资料、评价、专家建议以及事后分析。而且SWPC还在ISES中，作为“全球预警机构”，扮演着全球数据交换和预警的重要角色。SWPC的空间天气业务产品中约有50%的数据来自NOAA发射的GOES系列气象卫星^[2]，而GOES-R卫星计划正在进行中，其在空间天气方面的监测能力也将全面升级。

在美国国防部，主要由美国空军(USAF, United States Air Force)负责提供实时的空间环境状态，评估空间天气对国防任务中不同部门的影响。USAF还建有独立的空间天气监测网络，如国防气象卫星(DMSP, Defense Meteorological Satellites Program)、太阳电子光学观测网(SEON, Solar Electro-Optical Network)、数字电离层探测系统(DISS, Digital Ionospheric Sounding System)以及GPS网络。此外，国防部还支持了多学科大学研究计划(MURI, Multidisciplinary University Research Initiative)，以解决空间天气建模问题，并在USAF建立空间天气中心(CoE, Air Force Space Weather Center of Excellence)，研发能够判别、预报和减缓空间环境对国防部各系统影响的技术，而美国海军实验室(NRL, Naval Research Laboratory)开发的全球电离层同化模型(GAIM, Global Assimilation of Ionospheric Measurements)，也已在AFWA投入业务运行。

NASA是美国国家级空间天气机构的第三个重要成员。虽然NASA更偏向于科学探测，但其众多科学任务为空间天气业务提供了大量的空间天气监测信息，比如监测上游太阳风的先进成分探测器(ACE, Advanced Composition Explorer)，监测太阳的STEREO卫星和SDO卫星等。另外，NASA还在其多个航天器上配备了无线电信标装置，并将继续在长期的航天任务中搭载，以便为空间天气业务提供及时

的空间环境监测数据。同时，NASA还在戈达德航天中心（GSFC, Goddard Space Flight Center）成立空间天气实验室，将许多理论研究成果转化到空间天气业务中，包括探测器技术以及空间天气物理模式^[2]。

NSF主要支持基础研究活动及其产生的跨学科的新知识和新技术，但是以提高对空间环境基本过程的认识和改进空间天气的预报能力为目标的理论、观测和数值模式研究，比如太阳的演化和暴发事件、磁层动力学、电离层以及中高层大气动力学这些研究领域也同样会得到NSF的重点支持^[5]。NSF建立了空间天气集成模式中心（CISM, Center for Integrated Space Weather Modeling），致力于空间天气模式研发，其联合多个组织机构开发的空间天气数值预报模式WSA-ENLIL模型已于2011年初投入业务运行，该模式可以提前1到4天预报太阳风等离子体高速流以及日冕物质抛射（CME）对近地空间环境的影响^[9]。

美国的一些其他联邦机构也积极推进“国家空间天气战略计划”，隶属美国内政部的地质调查局（USGS, United States Geological Survey）的地磁台站可以持续和高质量地提供地磁观测数据，而USGS根据地磁数据计算的实时Dst指数，也已经在其网站发布（<http://geomag.usgs.gov/dst/>）；美国运输部下属的联邦航空局（FAA, Federal Aviation Administration）计划将空间天气数据和产品整合到下一代航空运输系统中，以满足越来越多的商业航班极区飞行和新兴的商业空间运输领域对空间天气的需求；美国能源部及其国家实验室则重点开发用于全球定位系统和地球同步轨道的粒子辐射环境探测和电离层电子总含量（TEC, Total Electron Content）遥感探测技术，另外还包括空间天气对电力系统的影响等研究领域；美国国务院下属的空间和先进技术办公室（OES/SAT, Office of Space and Advanced Technology）除了代表美国参加COPUOS的活动，确保美国的空政策以及多边科学活动能够支持美国的外交政策目标和提高美国空间与技术的竞争力，同时还要负责NASA、NOAA以及USGS这些机构之间以及与其他国际空间组织之间的民用空间合作计划；美国地球物理协会（AGU, American Geophysical Union）创办了空间天气杂志，为国际空间天气团体发表最新成果、分享经验以及教育普通大众提供便利；一年一度的空间天气

研讨会（Space Weather Week）和空间天气企业论坛（Space Weather Enterprise Forum）则为来自空间天气业务、研究和用户等各个相关领域的组织机构提供了直接交流的平台，促进了国内和国际空间天气服务水平的提高；美国气象协会（AMS, American Meteorological Society）也通过了空间天气政策声明，确认空间天气对社会不断增长的影响^[5]。

3.2 欧洲

ESA的空间环境和效应分析部（Space Environments and Effects Analysis Section）主持制定了欧洲空间天气计划，在分析执行空间天气计划所能获得的效益后，欧洲确定了以市场为导向来开展空间天气研究和服务，实现空间环境的描述、预报和效应分析的有机结合^[10]。欧洲空间天气计划发展重点在空间天气监测卫星及相关探测仪器装备、空间天气研究、空间天气预报和服务等方面。

整个欧洲的空间天气计划主要隶属于欧盟和ESA两个机构，其空间天气方面的科研和业务活动分散在欧盟25个成员国和17个成员国之中。图4给出了欧洲空间天气组织的基本框架，欧洲绝大多数空间天气活动都发生在图4中标注DIAS（Digital upper Atmosphere Server），COST 296等字母缩写的各个单元中（COST是Cooperation in Science and Technology的缩写）^[2]。其中最重要的单元是ESA创立的欧洲空间天气网络（SWENET, Space Weather European Network）。SWENET提供了一种联盟的方式将欧洲的空间天气服务有序的组织起来，目前约有25~30项服务，可提供空间天气方面的数据以及一些数据分析，它的网站是<http://esa-spaceweather.net/swenet/index.html>。SWENET的服务可分为三大类：地面效应、电离层效应和空间飞行器效应。在每一类里面包括多项内容，比如现报、预报以及模拟输出。这些项目一般是由欧洲不同的研究机构开发的。比如由瑞典空间物理研究

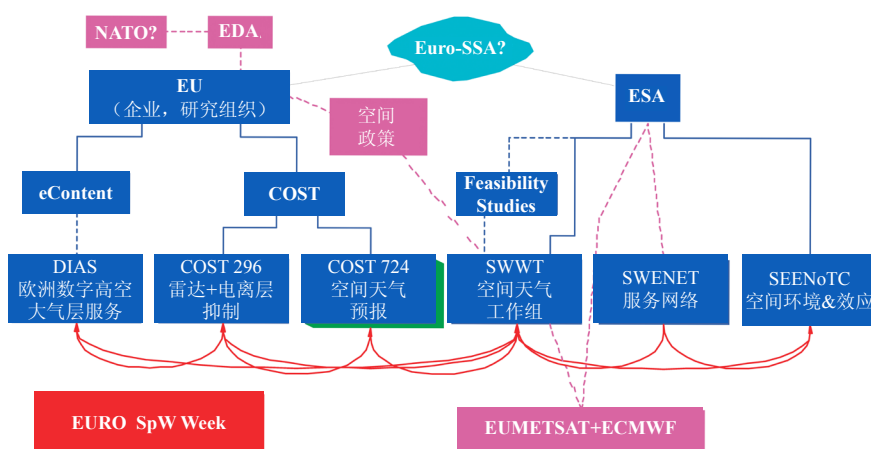


图4 欧洲空间天气基本组织架构^[2]

所 (Swedish Institute of Space Physics) 开发的地面感生电流 (GIC, Ground Induced Current) 预报, 主要是预测当地的地磁场、地面电场以及地面感生电流每10分钟的变化。由于ESA主要是研发机构, SWENET最终将独立于ESA。而欧洲空间态势感知项目 (SSA, European Space Situational Awareness) 也有着同样的规划。SSA主要目标是发展监测对卫星在轨运行造成危害的物体和事件的能力, 空间天气是其三个主要领域之一, 该项目也力图整合欧洲现有的空间天气监测资源, 包括一些小规模的国家级项目将会整合在SSA框架之下。SSA将来可能会接管SWENET计划, 目前约有10多个国家参与此项目^[2]。

欧洲在空间天气方面的数据资源是相当有限的, 绝大多数天基探测都是欧空局以及各个国家空间机构支持的科学研究的副产品。例如Proba-2计划中的太阳探测器以及成像系统 (SWAP, Sun Watcher using AP-sensor and Image Processing), STEREO卫星的日球成像仪 (HI, Heliospheric Imagers), 这些仪器可以提供太阳耀斑以及 CME的警报。同时, ESA还在尽可能多的卫星上搭载低成本的空间辐射监测仪 (Space Radiation Monitor)。此外, 欧洲还拥有众多地基观测系统, 包括磁力计、中子监测器、GPS接收机 (用于TEC和闪烁探测) 和电离层垂直测高仪 (用于电子密度廓线和等离子体漂移测量)。

3.3 中国

1969年, 中科院在北京、紫金山、云南三个天文台就开始联合做太阳活动预报服务, 但是大规模的空间天气研究始于20世纪90年代中后期。作为国家重大科技基础设施的“东半球空间环境地面综合监测子午链” (“子午工程”) 是世界上最长的子午台链观测, 跨越地球纬度范围达130°, 它利用沿120°E子午线和30°N附近共15个综合性观测台站 (如图5所示), 北起漠河, 经北京、武汉, 南至海南并延伸到南极中山站, 东起上海, 经武汉、成都, 西至拉萨, 运用无线电、地磁 (电)、光学和探空火箭等多种探测手段, 连续监测地球表面到中层大气、电离层和磁层的活动变化, 研究我国120°E子午链附近和30°N纬度链上空的空间环境的区域性特征和全球环境变化之间的关系, 为研究与预测空间天气变化提供地基观测数据。而已经成功实施的地球空间双星探测计划

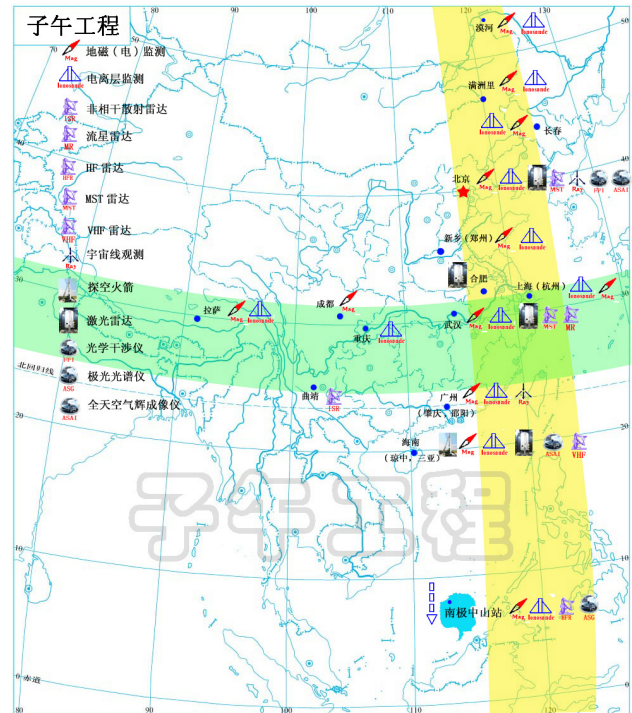


图5 子午工程台站分布图

(2003—2008年), 与ESA的Cluster II星簇形成六星座来探测地球磁层空间的多尺度结构, 它也是我国真正意义上的第一个空间科学卫星探测计划。2010年双星探测计划还获得年度国际宇航学院集体成就奖。在空间天气研究方面, 太阳大气磁天气过程、太阳活动、太阳风起源、日冕物质抛射, 行星际扰动传播、磁层能量传输与释放、磁重联过程、中高层大气动力学过程的探测与研究、电离层的建模以及区域异常、地磁、电离层天气预报方法以及极区光学观测研究等一大批研究成果都开始进入国际研究前沿, 这些研究



图6 中国气象局空间天气地基监测台站分布图

也先后获得国家自然科学奖、陈嘉庚地球科学奖、何梁何利奖等国家级奖项，以及COSPAR、ESA、SCOSTEP等多项国际重要奖励^[11]。

相比而言，我国的空间天气业务起步较晚。中国科学院空间科学与应用研究中心的空间环境预报中心于1999年正式成立，并针对载人航天提供空间环境专项服务。2003年底，中国科学院将其所辖涉及空间天气预报的部门组合成一个非法人机构——中国科学院空间环境预报研究中心。总参气象局等军口单位也在积极推进军事空间天气业务。

目前，空间天气灾害的监测预警已经纳入WMO业务范畴，我国是较早开展空间天气灾害监测预警业务的国家之一，并将空间天气监测预警纳入中国气象局主要业务之一。2002年，国家中编办正式批准在中国气象局成立“国家空间天气监测预警中心”，表明我国的国家级空间天气业务正式开始，主要包括空间天气监测、预报警报和服务等业务；2006年，《国务院关于加强气象事业发展的若干意见》（国发【2006】3号）要求中国气象局加强空间天气监测预警工作；2009年3月，《关于中国气象局机构编制调整的批复》（中央编办复字【2009】45号）批复中国气象局增加空间天气监测预警工作职能；2010年1月，国务院颁布的《气象灾害防御条例》（中华人民共和国国务院令570号）第三十三条规定，各级气象主管机构应当做好太阳风暴、地球空间暴等空间天气灾害的监测、预报和预警工作；2010年，国家发展改革委颁布的《国家气象灾害防御规划（2009—2020年）》的重要任务中要求构建空间天气灾害探测系统。

国家空间天气监测预警中心已经初步构建了国家级空间天气业务体系的主体框架，包括系列化的天基监测平台、网络化的地基监测台站、业务化的预报预测系统、专业化的应用服务机构。在天基监测方面，以风云系列卫星为核心，充分利用现有的风云卫星平台装载空间天气仪器，在地基监测方面，以气象监测与灾害预警工程为基础，结合国内现有的地基探

测站，在“子午工程”的基础上，在关键地点建设一些太阳、电离层和高空大气的台站。目前地基监测已全面稳步铺开，如图6所示。国家空间天气监测预警中心还与美国SWPC共同担任ICTSW的联合主席国，在WMO空间观测系统（GOS，Global Observing System）和WIS框架下共同组织协调空间天气事务。

4 结语

人类社会的发展越来越依赖空间技术，空间天气灾害则是现代化国家必将面对的低概率、高风险的非传统自然灾害。空间天气是一个跨学科的研究领域，所覆盖的学科领域，包括太阳物理、日球物理、磁层物理、电离层物理、大气物理、等离子体物理等多个交叉学科，也包括正在迅速拓展中的与航天、信息、材料、生命和国家安全等领域的跨学科交叉，需要不同领域的科技工作者的共同关注。空间是无国界的第四疆域，空间天气更是一种跨越国界的全球现象，需要国际社会的通力合作，将空间天气惠及一切事、一切人。

参考文献

- [1] 魏奉思, 于晟. 为人类进入空间时代“保驾护航”的科学. 科学时报, 2009-04-24.
- [2] 王劲松, 张效信, 等译. 恶劣空间天气事件——解读其对社会与经济的影响. 北京: 气象出版社, 2011.
- [3] Office of the Federal Coordinator for Meteorological Services and Supporting Research (OFCM). National Space Weather Program Strategic Plan. OFCM Publication FCM-P30-1995, 1995.
- [4] OFCM. National Space Weather Program Implementation Plan, 2d Edition. OFCM Publication FCM-P31-2000, 2000.
- [5] OFCM. The National Space Weather Program: The Strategic Plan. OFCM Publication FCM-P30-2010, 2010.
- [6] 魏奉思. 国际日地能量计划是本世纪90年代人类科学发展史上的一件大事. 中国科学基金, 1989(4): 13-16.
- [7] Withbroe G L, Guhathakurta M, Hoeksema J T. Origins of the International Living With a Star program. Advances in Space Research, 2005, 35(1): 40-43.
- [8] World Meteorological Organization. The Potential Role of WMO in Space Weather. WMO Space Programme, April 2008.
- [9] National Science Foundation. First Large-Scale, Physics-Based Space Weather Model Transitions Into Operation. NSF, Press Release 11-016, 2011.
- [10] Rodgers D J, Murphy L M, Dyer C S. Benefits of a European Space Weather Programme. DERA Report No. DERA/KIS/SPACE/TR000349, ESWPS-DER-TN-0001, Issue 2.1, December 2000. ESA Space Weather Programme Study (ESWPS).
- [11] 魏奉思. 基础研究转型是时代要求. 科学时报, 2011-09-19.

下期要目

- ◆ 大气低频振荡在延伸期预报中的应用进展
- ◆ 频域滤波和双PRF技术提高新一代天气雷达数据质量
- ◆ 城市热岛效应的研究进展
- ◆ GEFA海气相互作用估计方法研究进展
- ◆ “天河一号”系列超级计算机系统
- ◆ 相似离度在北京市道面结冰预报中的初步应用