

# 中俄空间天气学合作研究十周年

王赤\* 李辉 程锋 周谊

(中国科学院空间科学与应用研究中心 北京 100190)

关键词 国际合作,空间天气学

## 1 国际合作已成为空间天气学发展的潮流和趋势

地球空间是人类航天活动、空间开发利用及空间军事活动的主要区域,是与人类活动息息相关的第四生存环境。和地球天气一样,空间环境也常常出现一些突发的、灾害性的空间天气变化,有时会使卫星运行、通信、导航和电力系统遭到破坏,影响天基和地基技术系统的正常运行和可靠性,危及人类的健康和生命,导致多方面的社会经济损失。从上个世纪 90 年代开始,空间天气开始成为各空间国家关注的焦点。然而,空间现象的全球性和相互关联性强的特点决定了空间天气的研究和应用更多地依靠国际合作。由于需要在广阔的宇宙空间和全球各地进行大量的观测,单靠一个国家的资源和力量是难以达到的。

过去 10 年国际科联所属日地物理委员会组织实施了“日地系统气候和天气”计划(Climatic & Weather of the Sun-Earth System)。目前,以美国宇航局为首、组织世界众多国家参加的“国际与太阳同在”(International Living with a Star)计划是一个“聚焦空间天气、由应用驱动的研究计划”,

规模空前宏大,将在太阳附近和整个日地系统配置 20 余颗卫星,将日地系统作为一个有机联系的整体来探测研究。2007—2008 年为纪念国际地球物理年 50 周年,国际上又开展了国际日球物理年(IHY)、国际极地年(IPY)和信息地球物理年(eGY)等计划。越来越多的空间天气的探测和研究的成就得益于空间大国的双边或多边合作,呈现多级化这是空间天气发展的战略需求。并成为空间天气领域的国际合作的特点日趋鲜明,其趋势还将长期继续下去,并且合作的深度、广度还将继续扩大。

## 2 中俄合作是提高我国空间天气研究水平的重要途径

人类进入太空时代以来,前苏联发射了第一颗人造卫星,第一次把人类送上太空,在很长一段时间内前苏联都是空间强国。近十几年来,由于国家实力下降,俄罗斯的空间研究已今不如昔。但由于起步早,且加上多年的积累,俄罗斯在空间研究的许多领域仍处于国际先进行列,有其独到之处。另外,俄罗斯对于与中国合作的态度一直比较积极,这与美国在空间技术领域的不合作的态度形成了鲜明对照。随着中俄两国关系日益发展,两国在科学研究领域的合作也呈扩大趋势。特别在空间天气探测领域,由于俄罗斯地处高纬度地区,而我国处于中低纬度地

\* 中国科学院空间科学与应用研究中心副主任、研究员,空间天气学国家重点实验室主任。E-mail: cw@spaceweather.ac.cn  
收稿日期: 2011 年 4 月 22 日

区,双方的合作可以充分利用地域互补的优势,实现自然资源和人力资源的共享。中俄空间天气的合作研究就是在这种国际背景下开展起来的。

2000年12月,中俄双方经协商后正式成立中俄空间天气联合研究中心,主要目的是协调和加强中国和俄罗斯科研人员在空间天气研究和预报领域的合作研究。合作参加单位中方有:中科院空间科学与应用研究中心、中科院国家天文台、中科院地质与地球物理所、中国科技大学、北京大学等。俄罗斯的参加单位,也由最初的俄罗斯科学院西伯利亚分院伊尔库茨克日地物理研究所,扩展到了其他相关研究所,有俄罗斯科学院空间研究所、俄罗斯科学院西伯利亚分院宇宙线物理与高层大气所物理所、俄罗斯科学院地磁、电离层和电波传播研究所。经过10年的科研合作,我国参加合作的研究人员也更加深刻地认识到中俄开展空间科学合作的必要性与重要性。合作已逐渐向广度和深度上发展,共同开展观测、研究,共同研发科学仪器,共同在国际组织中相互支持并提出国际项目,建立有中俄合作特色的国际组织,为中俄空间天气领域的科学家搭建了一个合作交流的有效平台。灵活与逐渐多样化的合作模式也受到了中俄科学家和主管部门的广泛认可。

### 3 共建联合中心(实验室)的平台意义深远

10年来,空间天气联合研究中心规模不断扩大,现已成为中俄空间科学研究的重要合作平台和交流渠道。合作领域也由最初的磁层物理扩展到了太阳物理、电离层物理和中高层大气等空间天气研究的各个领域。

中方每年都接待十几位科学家进行合作研究,不定期地组织中国专家访问俄罗斯科学院相关研究所以及台、站,商讨合作项

目。由于这种合作形式是直接的、连续不断的,合作双方都能很好地了解对方的研究情况,利用双方共有的资料合作研究,成果和进展也十分明显。

2005年,为庆祝联合研究中心成立5周年,中心组织《中国空间科学》*Chinese Journal of Space Research* 杂志出版专刊,登载联合研究中心的合作文章。并在10月14日联合研究中心成立5周年特别会议上,决定修改部分协议条款,将合作期限再延长5年。

俄中(或中俄)空间天气学术研讨会,自2000年10月14—19日在俄罗斯伊尔库茨克举办第一届以来,共举办了10届,2010年10月31日—11月2日,第十届中俄空间天气学术研讨会暨中俄空间天气联合研究中心成立10周年庆祝活动在北京举行。来自俄罗斯科学院伊尔库茨克日地物理研究所、雅库茨克宇宙物理和高空大气所、莫斯科地磁、电离层和电波传播研究所、俄罗斯科学院莫斯科空间科学研究所等单位的23名俄罗斯科学家和来自空间中心、国家天文台、地球物理所、北京大学等单位的50多名中国代表一起参加了会议。双方回顾了中俄空间天气联合研究中心成立的历史及取得的科研成果,就中俄双方在空间天气领域更广泛与深入的合作进行了探讨,并发表会议论文60余篇,出版了中俄空间天气联合研究中心纪念论文集。

### 4 合作成果

10年来,中俄双方的科学家共同发表论文100余篇。空间天气联合研究中心规模不断扩大,成为中俄合作的一个国家级平台。双方的合作取得了一系列重要的研究成果,同时带动了一批空间科学合作项目的产生与发展,吸引了数十名俄罗斯科学家来华合作。通过中俄双方科学家的不断努力,利



中国科学院

用双方对空间天气观测上的地域的优势(从低纬延伸到高纬)和双方已有的经验,强强联手,相互合作,双方空间天气研究水平都得到了显著提升,所发表论文受到了国际同行的广泛重视,获得了大量原创性成果。这些成果对于研究日地系统所特有的环境,研究其各种宏观与微观交织的非线性耗散,以及具有不同物理性质的空间层次间的耦合过程,了解灾害性空间天气变化规律均具有重要意义。

同时,双方共同承担了中国自然科学基金委和俄罗斯基础研究基金委联合基金资助的项目 10 余项,合作研制了快速太阳风探测仪器,并推动了双方重大合作计划,如,2007 年 8 月 16 日,“利用中国和俄罗斯东西伯利亚日地物理观测网联合观测数据预报空间环境、综合研究近地环境及其物理过程”项目列入中俄国家科技合作计划;实施中的中俄联合火星探测计划和正在推动的国际空间天气子午圈计划等也是中俄空间天气联合研究中心的重要产出之一。

下面简单介绍在太阳物理、磁层物理、电离层物理和中高层大气物理 4 个领域的典型合作成果。

#### 4.1 太阳物理领域

双方共同发展了利用同步轨道电子宽带爆发以及高时空、频谱分辨率相干窄带发射的观测,研究耀斑等离子体参数的方法。2003 年 1 月 5 日耀斑事件的观测证实了斑马纹发射机制,是该领域的新发现。

图 1.1 的上半部分显示的是 SRS/NAOC 的动态谱,颜色较深的区域对应于较高水平的发射。可以看出

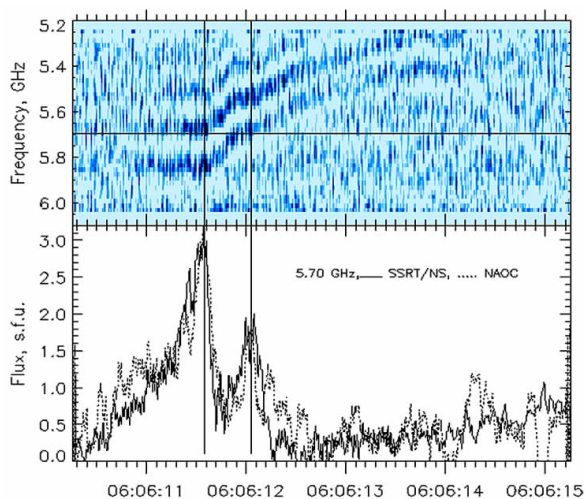


图 1.1 上半部分是 SRS/NAOC 的动态谱,下半部分是 NAOC 分光偏振计和 SSRT 线性阵列在横线处(5.7GHz)观测值的瞬态剖面。两条竖线代表通量的两个峰值

存在两个位于不同频率的高水平发射区域,并随时间的演化,发射的频率也逐渐增大,但是两个高水平发射的频率之差( $\Delta f$ )却几乎保持恒定,类似于斑马条纹。下半部分显示的是 NAOC 分光偏振计和 SSRT 线性阵列在上图横线处(5.7 GHz)观测的瞬态剖面。两条竖线代表通量的两个峰值。

图 1.2 中颜色显示的是磁图,而等值线显示的是紫外发射图,斑马纹发射的源区位于 NS 线和 EW 线的交点。

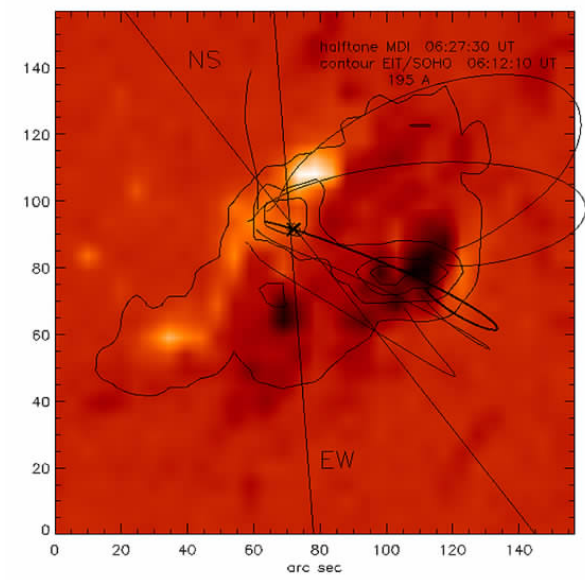


图1.2 太阳磁图

## 4.2 磁层物理领域

共同提出了一种电子在太阳风和磁层中被加速到相对论能量的物理图像,并且在此基础上发展了同步轨道杀手电子的短期预报方法。就 2009 年 3 月 13—16 日事件,展示了有关产生杀手电子的链式过程。

图 2.1 是 2009 年 3 月 13—16 日事件的观测结果。从上至下分别展示的是 ACE 卫星观测的太阳风速度、GOES 卫星观测的 Pc5 脉动(3—4 mHz)的功率谱和 GOES 卫星观测到的杀手电子的通量。太阳风高速流以及 Pc5 脉动(3—4 mHz)的功率谱的峰值出现之后,同步轨道杀手电子逐步增高,达到峰值后又缓慢衰落。

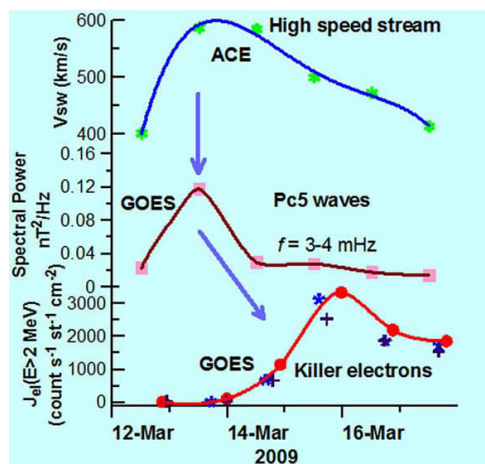


图 2.1 2009 年 3 月 13—16 日,ACE 卫星观测的太阳风速度,GOES 卫星观测到 Pc5 脉动的功率谱及杀手电子通量随时间的变化

图 2.2 中,星号表示的是 GOES-10 卫星观测的日最大值,黑色大圆点表示的是 GOES-11 卫星观测的日最大值,橙色小圆点显示的是 GOES-11 卫星 5 分钟的观测平均值。在同步轨道杀手电子通量增加之前,可以看到 PiB 脉动。图 2.3 中,星号表示的是 GOES-10 卫星观测的白天最大值,黑色大圆点表示的是 GOES-11 卫星观测的白天最大值,加号表示的 GOES-12 卫星观测的白天最大值,橙色小圆点显示的是 GOES-11 卫星 5 分钟的观测平均值。类似

地,在同步轨道杀手电子通量增加之前,可以看到全球 Pc5 脉动。

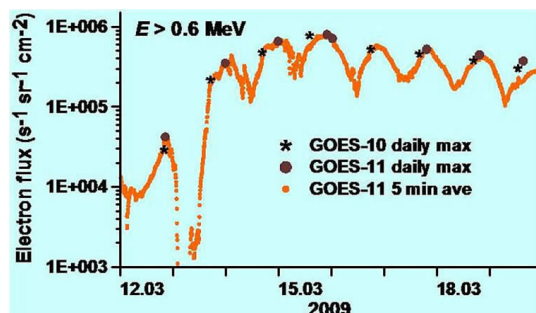


图 2.2 2009 年 3 月 12—20 日,同步轨道 GOES-10 和 GOES-11 卫星观测到的能量大于 0.6MeV 的电子通量随时间的变化

根据此同步轨道杀手电子的短期预报方法,我们可以在较高水平上预测同步轨道杀手电子的通量。

## 4.3 电离层物理领域

通过研究,共同建立了一种描述电离层-等离子层耦合的数值模型。该模型基于一些经验性的信息,如电子沉降、磁层对流,以及根据[O]/[N2]观测数据修正后的热层大气的一些参数。该模型能提供平静时、中等扰动和强扰动期间电离层 F<sub>2</sub> 层特征频率 f<sub>o</sub>F<sub>2</sub> 的预测,并且预测值与观测值符合的很好。

图 3 是 2000 年 4 月 6—8 日的超级磁暴期间, f<sub>o</sub>F<sub>2</sub> 变化的数值模拟结果。第 1—4 栏显示的是 Norilsk, Magadan, Manzhouli, Beijing 四个地方 f<sub>o</sub>F<sub>2</sub> 的变化,红线表示的是 f<sub>o</sub>F<sub>2</sub> 的观测值,黑色实线是模型的预测值,而黑色虚线是参考水平。第 5—6 栏分别是 Kp 指数和 Dst 指数。2000 年 4 月 6—8 日的磁暴强度很大,最小 Dst 指数小于 -300 nT, Kp 指数也达到 9<sup>+</sup> 的水平。对于此次超级磁暴事件,电离层在各个纬度上都有响应,表现为电力密度相对参考值的明显衰减。可以看出,模型的预测值和实际的观测符合的非常好,甚至相对极光区台站 Norilsk 的观测也



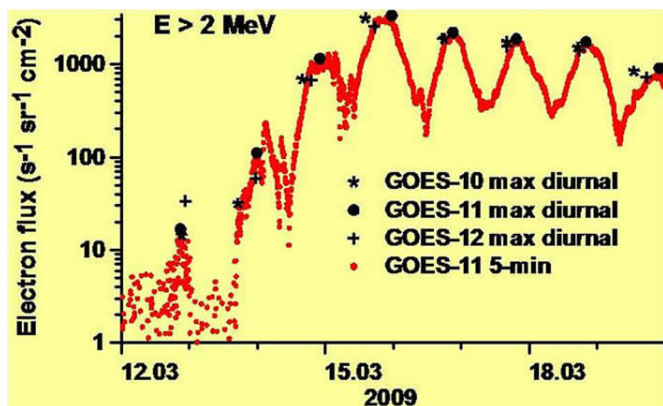


图 2.3 2009 年 3 月 12—20 日,同步轨道 GOES-10、GOES-11 和 GOES-12 卫星观测到的能量大于 2.0MeV 的电子通量随时间的变化

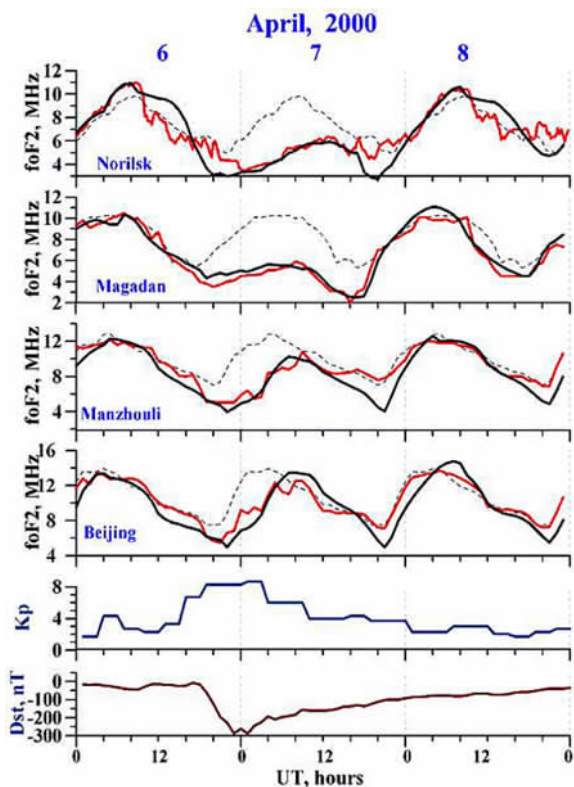


图 3 2000 年 4 月 6—8 日的超级磁暴期间,  $f_oF_2$  变化的数值模拟结果

相差不大。

#### 4.4 中高层大气物理领域

在中高层大气物理研究领域,对于较强磁暴而言,在 630 nm 的中纬度极光之前,会有短时(约 1 小时)的似波扰动结构,对应于磁暴主项的开始。

图 4 是磁暴期间 630 nm 辐射强度随时间变化的事例。上半部分分别显示的是 2000 年 4 月 6—8 日超级磁暴初相阶段,同步轨道磁场(GOES-8 卫星)、AE 指数和 Irkutsk 地磁观测的时间演化图。下半部分显示的是消除了似波扰动和中纬度极光的变化趋势之后,630 nm 辐射的变化情况。磁暴急始之前,630 nm 辐射的变化幅度较小,显示为气辉的效应,两个竖虚线之间为磁暴的初相阶段,可以看出 630 nm 辐射的变化幅度突然增大,并呈现处波动结构。

#### 5 结语

中俄空间天气合作研究的 10 年取得了实质性的进展,双方科学家们在中俄空间天气联合研究中心的平台上取得了丰硕的研究成果,增进了友谊。展望未来,中俄两国在空间探索方面越来越多的投入也为双方在空间天气领域的合作注入了新的活力。中俄空间合作一定会为人类共同认识空间、和平利用空间谱写新的篇章。

#### 主要参考文献

- 1 Altyntsev, Kuznetsov, Meshalkina et al. A&A, 2003, 411:263.
- 2 Altyntsev, Kuznetsov, Meshalkina et al. A&A, 2005, 431:1 037.
- 3 Ledenev, Yan, Fu. Solar Physics, 2006, 233:129.
- 4 Altyntsev, Grechnev, Meshalkina et al. Sol. Phys., 2007, 242:111.

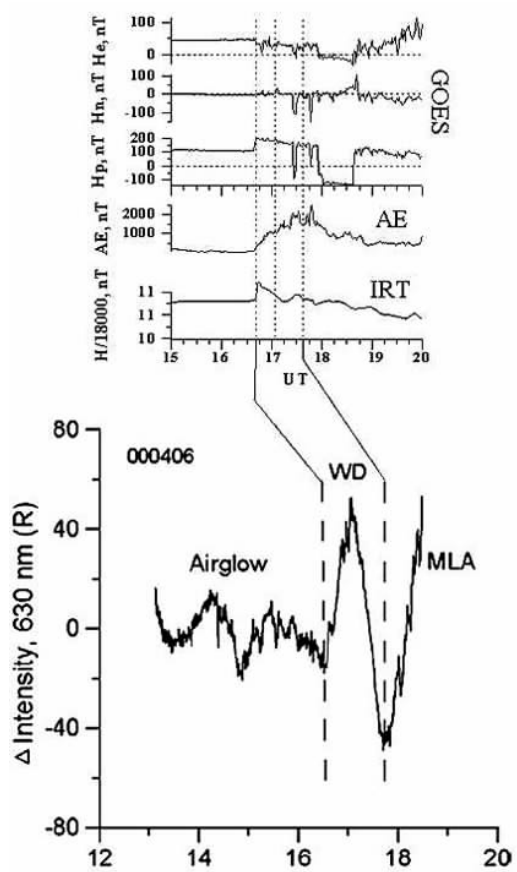


图 4 2000 年 4 月 6—8 日超级磁暴的初相阶段, 630nm 辐射强度随时间的变化

- 5 Altyntsev , Fleishman , Huang et al. ApJ, 2008, 677: 1 367.
- 6 Degtyarev V I, Chudnenko S E, Kharchenko I P et

al. Geomagnetism and Aeronomy, 2009, 49(8): 1 208-1 217.

- 7 Potapov A, Polyushkina T, Tsegmed B et al. In: "Earth: Our Changing Planet. Proceedings of IUGG XXIV General Assembly Perugia, Italy 2007". ASV039, 2007, 3 355.
- 8 Degtyarev V I, Chudnenko S E, Kharchenko I P et al. Solar-Terrestrial Physics, 2009, 13: 34-42.
- 9 Romanova E B, Pirog O M, Polekh N M et al. ASR 2008, 41: 569-578.
- 10 Pirog O M, Polekh N M, Romanova E B et al. JASTP, 2010, 72: 164-175.
- 11 Pirog O M, Polekh N M, Romanova E B et al. ASR, 2010, 46: 921-933.
- 12 Gao H, Xu J Y, Chen G M, et al. Chinese J. Space Sci. 2009, 29(3): 304-310.
- 13 Mikhalev A V, Xu J Y, Degtyarev V I et al. ASR 2008, 42: 992-998.
- 14 Mikhalev A, Beletsky A, Leonovich L et al. 38 th COSPAR Scientific Assembly. Bremen, Germany. 2010, Abstract COSPAR C13-0042-10.