

关于我国空间天气保障能力发展战略的一些思考

■ 魏奉思

空间天气灾害是人类要面对的一种非传统的自然灾害

什么是空间天气

千百年来,人们就知道狂风暴雨、洪涝、干旱这些地球上的灾害性天气会给人类的生活、生产和军事等活动带来重要影响。近20年来空间科学的成就表明:在地球对流层之上2~30千米到千万千米的空间,这个地球的“第四环境”的状态,因太阳活动将巨大的能量和物质抛向空间形成所谓的太阳风暴吹袭地球时,常引起地球的电磁辐射、带电粒子、中性大气、等离子体环境发生急剧变化,有时致使卫星失效乃至陨落,通信受干扰乃至中断,导航定位跟踪失误,灾害监测、抢险救灾受阻,金融、贸易受损,油气运输、电力系统损坏以及人类健康和生命受到严重危害。科学家将这种突发性的、急剧变化的条件或状态与地球天气类比,形象地称之为“空间天气”(space weather)。“空间天气”一词出现于20世纪70年代前后、流行于90年代中期美国提出“国家空间天气计划”之后。由于空间天气常给航天、通信、导航、电力、人类健康以及国家安全等有关国家利益的领域带来严重危害和巨大损失,越来越引起有关政府、产业界、科技界和军事部门的高度重视。例如美国宇航局根据美国总统令制定的2006—2016年的战略计划中把空间天气作为一个重要的战略目标,特别指出“空间天气对人类的危害越来越明显,因此认识并降低空间天气对人类的危害效应迫在眉睫”。鉴于人类社会的发展越来越离不开空间技术系统的安全运行,一门旨在专门监测、研究、建模、预报空间天气变化及其效应,减轻或防止空间灾害,为人类空间安全“保驾护航”的新兴科学领域——空间天气学“在人类跨世纪的步伐中应运

而生”,并迅速成为关系人类社会发展的一项空间天气事业。它的学科基础是空间物理学,研究的是空间环境中最富神奇变幻、对天基、地基技术系统最具危害性的那些突发性的、短时间尺度的、高度动态易变的天气变化及其对技术系统的影响,它是空间物理学进入科学与应用紧密结合发展新阶段的标志。中国正向创新型国家迈进,中国应成为有空间天气知识和保障能力的国家。

空间天气灾害

空间天气变化所引起的灾害称之为空间天气灾害,它是一种非传统的、主要源自太阳活动的自然灾害,而且在太阳活动峰年期间发生的频次和强度都大为增加,这是1990年代才开始被认识的新事实。

早在1859年9月发生过一次超强太阳风暴吹袭地球,曾记录到地磁暴指数Dst~-1760 nT,加拿大、美国、法国、英国等报导电报通信受严重干扰与出现极光有关。但是作为一种科学认识,那是近一个半世纪之后的事。第21周太阳活动峰年期间1989年3月一次太阳风暴吹袭地球,引起强磁暴(Dst=-589 nT),致使太阳峰年科学卫星提前陨落,大约6000个空间目标跟踪丢失,低纬无线电通信几乎完全中断,轮船、飞机的导航系统失灵,磁法控制姿态发生困难,加拿大魁北克输电系统烧坏,使600万居民停电9小时之久,许多卫星上指令系统受干扰甚至失效或永久损坏,航天员和高空飞机乘客遭受危险辐射剂量等。这次事件震惊了国际社会!事实上,这种灾害性天气事件,近20年已发生过十几次。若遇更为猛烈几倍的超强太阳风暴吹袭地球,会是什么情景呢?正如美国国家科学院2009年1月发布的一份特别报告所警告的,它可能会引发一次严重的地球灾难。在约90秒时间内,美国

东部地区将停电,卫星信号中断,随之而来的是供水、污水处理、物流、金融、高速、运输、医院等国家基础设施将濒于崩溃。经济损失预计第一年可达1~2万亿美元,需4~10年恢复。美国科学家大声疾呼:“由于出现的可能性微乎其微,全社会根本没将其考虑在内,而只是关心眼前的事”,“人类社会还远未做好应对准备”。超强太阳风暴吹袭地球引起的空间天气大灾害,如同源于地球活动的大地震、大海啸一样,都是人类要面对的突发性的、难于预测的低概率/高风险的重大自然灾害。我国应如何从战略高度加以积极应对呢?这向我们政府和有关部门提出了一个颇具挑战性的决策难题。印尼海啸、中国四川汶川地震、日本仙台地震等的教训应当吸取!

国际社会认真应对可能发生的空间灾害性天气

通过美国空间天气科学家们的呼吁,美国等国和一些国际组织正从加强监测、预警、提升认知水平、风险评估、减灾防灾、国际合作等多方面应对可能发生的空间天气灾害,例如:

●美国航空航天局(NASA)根据总统令制定十年(2007—2016年)战略计划,空间天气作为重要的战略目标之一,执行具有前瞻性的太阳—太阳系观测大平台战略计划;

●美国航空航天局(NASA)计划发射一组“飞船空间天气站”,由五个卫星计划组成,已于2008年2月发射太阳动力学卫星(SDO)监测太阳活动,正紧盯空间天气变化;

●美国白宫2010年6月评估、批准制定新的第二个国家空间天气十年计划,着手建设有空间天气知识和保障能力的国家;

●美国减灾委员会于2008年把空间天气灾害纳入美国重大减灾挑战的十年计划;

●欧空局制定空间态势认知十年计划，三大主题是：地球轨道目标的监视与跟踪、空间天气、近地物体；

●联合国关注空间天气，2009年起支持“国际空间天气起步计划”，协调全球的空间天气监测与研究等活动；

●世界气象组织（WMO）认识到空间天气对气象基础设施和人类活动有相当大的影响，并预计在即将来到的太阳活动周中这种影响将会增加，应加强气象与空间天气服务之间的协调，于2010年成立以中国气象局国家空间天气监测预警中心和美国大气海洋局空间天气预报中心为联合主席单位的空间天气协调小组。

国际发展态势

空间天气科学正成为世界范围关注的科技活动热点之一

●世界范围诸多国家相继制定空间天气起步计划。从1995年美国实施国家空间天气十年计划开始，欧空局、法国、德国、英国、俄罗斯、加拿大等许多国家相继制定空间天气起步计划；美国宇航局的十年战略计划（2007—2016年），其战略任务之一将实施日—地关系大观测台计划，安排近二十颗卫星监测、研究空间天气变化，建立空间天气保障体系，保障载人和非载人空间活动的安全。

●规模宏大的国际空间天气计划相继提出和实施。围绕日地系统空间天气整体变化过程这一前沿科学问题，过去十年国际科联所属日地物理委员会组织实施“日地系统气候和天气”计划（Climate & Weather of the Sun-Earth System）。目前，美国宇航局牵头、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二十余颗卫星。它的目的是：“科学地了解把日地空间联结为一个系统、对人类生存与发展有直接

影响的科学前沿问题，把获得的知识应用到将来地基、天基技术系统的设计和防护”。我国“夸父”卫星计划已参加该计划，预期将做出具有核心价值的重要贡献。

●人们关注空间天气的视野正向广度和深度延伸。在广度上，一系列空间探测计划向太阳系的火星、金星、水星、土星、木星等深空进军，登月成为诸多国家新的竞争舞台。空间天气探测、研究与预报也从日地系统扩展到整个太阳系，“开辟人类在太阳系中的新疆界”。在深度上，除已发射的Cluster、Hinode、THEMIS、SOHO、ACE、TRACE、我国地球“双星”和太阳动力学观测站（SDO）等探测计划外，针对日地系统空间天气整体变化中的关键科学问题还将实施一系列卫星计划，甚至将于2015年后发射飞到离太阳只有几个太阳半径处的太阳探测器（Solar Probe）等卫星去揭示空间天气变化的科学之谜。

空间天气保障能力成为增强国家综合实力的新竞争点

未来十年，随着人类社会的发展越来越依赖空间技术，上千颗卫星将在空间运行，空间技术将成为惠及一切事、一切人的普及的高技术。发展航天、信息等空间高科技产业关系国家核心利益。空间是无国界的第四疆域，人们关于国家安全的概念已从领海、领空和领土安全拓展到空间安全，空天军事化趋势在发展。此外，空间天气也密切关系国家电磁安全、海洋权益和战略预警安全等。美国政要认为“空间系统是我们的安全、社会和经济的重要组成部分”。欧洲空间局的空间天气计划特别强调它对提高欧洲工业、军事、技术和科学独立性的战略利益以及在经济、科技和教育方面利益的重要性。在这种态势下，减轻或避免空间天气对技术系统和空间活动和国家太空安全影响和破坏的保障能力建设，将成为增强国家综合实力的一个新竞争点。

目前人类关于空间天气预报的能力十分有限

空间天气预报能力是对空间天气的监测能力、变化过程和规律的认知能力，以及在此基础上的建模能力和预报技术等多方面能力的一种综合。目前空间天气的预报水平相当于地球天气1960年代的水平，对极端空间天气事件的预报能力还处于非常初级的状态。正如美国空间天气委员会主席丹尼尔·贝克教授所指出的，“我们目前还无法提前准确地预测太阳风暴的时间和强度，我和同事们所能预知的只是一旦超强太阳风暴来袭，我们根本无力应对”。如何提高预报能力，主要取决于对日地系统空间天气的探测能力的进步、认知水平的提升以及集成建模、预报技术的进展，这是一个逐步逼近真理性认识的过程，需要人们长期坚持不懈的去求索。

我们面临的挑战

中国建设创新性国家，进入空间、认识空间、利用空间、拥有空间的能力是一个重要标志。夯实基础空间天气，提升认知和预报空间天气水平，降低空间天气灾害的危害，我们面临严峻挑战。

实现从空间大国向空间强国的转变

航天、信息是国家“支柱”产业，大国承载的政治、经济、军事、外交等全球活动日益增多，将有上百颗卫星上天服务。航天故障40%来自空间天气，恶劣的空间天气将使空间技术系统受到严重影响，甚至是毁灭性灾难。空间技术系统的长寿命、高可靠性、安全有效运行成为当今建设空间强国的“瓶颈”。因此，为突破“瓶颈”提供空间天气的科学基础和支撑，面临严峻挑战。这也是空间强国的一个重要标志。

实现空间天气研究从跟踪模仿向原始创新转型的跨越式发展

当今人类的知识体系正从地球的实验室向空间的宇宙实验室扩展。空间天气主要涉及在地球上无

法模拟的、空间无碰撞系统中的高真空、高温、高电导率、高辐射、微重力等特殊环境，地球上传统的以碰撞为基础的知识体系，诸如相互作用、扩散、传导和能量转化等理念受到挑战，急需发展新的科学概念和基础理论，把人类的知识体系从碰撞系统向无碰撞系统拓展。这些新知识不仅代表人类科学的进步，还将为减轻或规避空间天气灾害提供知识和预报能力、更为和平利用空间做出重大贡献。加速实现空间天气研究向原始创新转型，面临严峻挑战。这也是创新型国家的一种重要能力。

国家空间安全急需提升空间天气认知水平

所有进入空间的军事技术系统如卫星和导弹等的轨道、姿态、通信、导航定位、跟踪、材料、电子器件、星上计算机、太阳能电池和航天员健康，以及高技术战争和军事活动的所有任务领域等都受到空间天气影响，有时甚至是毁灭性的灾难。因此，在没有空间安全就没有领空、领土和领海安全的今天，建设海、陆、空、天的无缝隙保障体系，特别是临近空间的空天一体化的安全保障体系，急需提升空间天气认知水平，急需快速提升其监测与预警能力，面临严峻挑战。这也是当前欧美有关国家正在追求的一个重要战略目标。

有效应对空间天气灾害迫在眉睫

当强太阳风暴吹袭地球时，地球空间天气环境会发生急剧的灾变，这将给我国的载人航天，探月工程、“北斗”导航，以及通信、对地观测等带来严重的影响和威胁，甚至会对我国高压电网、雷达系统及其国家基础设施产生影响。若发生百年不遇的超强太阳风暴，甚至会引发严重地球灾害。目前我们关于空间天气的认知水平和预测能力十分有限，要有效应对空间天气灾害，面临严峻挑战。这也是国际上高度关注基础空间天气的根由。

上述挑战表明：夯实基础空间天

气成为对国家发展有全局、现实和长远影响的重要而紧迫的战略需求。

中国的进步

我国的空间天气研究，与美国1990年代初提出国家空间天气计划大体同步，经过近十多年的快速发展，从一个三流国家跃升为二流国家前列，开始站到国际科学前沿，正鼓着劲跟踪模仿向自主原创、引领发展转型；同时，我国空间天气业务也开始逐渐形成体系，取得了可喜成绩。主要表现如：

●天基卫星探测获国际大奖。我国自主研发的第一个科学卫星《地球空间双星探测》与欧空局《集簇卫星(Cluster)》联合实现地球空间的六点首次探测，取得一系列原创性成果，共同获国际宇航科学院(IAA)2010年度的Laurels团队成就奖这一国际殊荣。这是航天领域的国际大奖，诸如哈勃望远镜、航天飞机、空间站等位列其中。“双星”计划也获国家2010年度科技进步一等奖。

●地基观测步入国际先进行列。1997年经国家科教领导小组批准的大科学工程——“东半球空间环境地基综合监子午测链”，简称《子午工程》，2011年将全部建成验收。它是目前世界上沿地球120°E子午链经度跨度最长，集无线电、光学、地磁和探空火箭等多手段探测的综合性和先进性为一体的空间环境地基监测系统。国际科学界高度评价中国的子午工程，“无论是对中国的科学还是国际的科学都将是重要的”，“毫无疑问子午工程将激励中国科学家进入这个重要领域的前沿”。它“雄心勃勃”、“影响深远”和“令人震撼”。

●“亮点”研究如雨后春笋。首次揭示太阳风形成高度在太阳表面之上的20万千米处，是“具有里程碑意义的成果”；太阳风暴的日冕一行星际数值模式被认为是当今“国际上最好的三个模式之一”；磁重联研究为国际瞩目，如磁“零点”研究于2009和2010年连续两年

被评为欧空局“集簇”卫星的五大成果之一；揭示严重威胁地球同步通信卫星安全的“杀手”电子快速加速的机理，入选欧空局颁发的“集簇”卫星5位“杰出科学家奖”之列；太阳风暴与地球磁层相互作用的模拟研究，中国是具有这种能力的少数几个国家之一；电离层的地域特色与中高层大气的激光雷达观测研究为国际学术界瞩目；太阳活动研究与预报水平名列国际前茅，已为我国的航天安全保障做出重要贡献等。这些研究已开始产生引领其发展的影响。此外，有的实验室在国际一流刊物发表高质量科学论文的数量已赶上美国一流实验室，如我国的电离层物理实验室、地球空间环境实验室、空间天气国家重点实验室和太阳活动物理实验室等。

●牵头国际合作，发挥引领作用。我国正以《子午工程》为基础，充分发挥我国地域优势，牵头组织沿120°E和60°W、环绕地球一圈的国家和地区实施“国际空间天气子午圈计划”，国际科学界高度评价“它将对全世界范围内空间天气研究的不断进步和发展做出重大贡献”；我国科学家牵头建议的“夸父”国际合作卫星计划，被誉为“这是中华民族在空间探测科学领域的创世纪的计划”。这些由中国科学家牵头的地基、天基计划已在组织推动中，必将对科学发展产生重要引领作用。

●空间天气业务成绩显著。空间天气业务和其他气象业务的配合可以实现从太阳到地球表面气象环境的无缝隙业务体系。2002年6月1日国务院批准中国气象局成立国家空间天气监测预警中心，标识着我国国家级空间天气业务的开始。9年来，国家空间天气监测预警中心的业务已经形成规模，在基于风云系列卫星的天基监测能力建设、基于气象台站的网络化地基监测台建设、参考气象业务规范的预报预警系统建设以及面向用户的应用服务

探索与实践等方面取得良好成绩，在国际和国内赢得了广泛的认同和支持。目前国家空间天气监测预警中心是WMO计划间空间天气协调组联合主席单位。同时，军口也成立了专门的空间天气业务机构。此外，中国科学院和中国电子科技集团等部门在空间天气方面的应用也在快速发展中。

上述点滴介绍表明：我国空间天气科学研究是有基础，有优势，可望未来十年实现从跟踪模仿向原始创新，引领发展转型的一个重要领域；同时，我国空间天气业务也为未来十年构建我国空间天气保障体系奠定了良好基础。

发展战略建议的初步思考

为应对建设创新型国家面临的诸多挑战，中国科学院院士咨询委员会2007年立项进行《我国空间天气保障能力发展战略建议》研究。这里简要介绍一些初步思考。

战略目标

总目标：建立我国空间天气的天、地一体化的监测、预警体系，实现我国在空间天气科学前沿、建模与预报研究以及人才队伍建设进入国际先进国家之列的跨越发展，具有不断提升应对严重空间天气灾害的基本能力，满足我国航天、通信、导航定位、目标跟踪、载人航天以及国家对空天一体化和太空安全保障等方面日益增长的需求，成为有空间天气知识和保障能力的国家。

分期目标：（1）2011—2015年：夯实基础，聚焦近地（20~1000千米）空间天气保障体系建设；

（2）2016—2020年：跨进前列，建设我国地球空间天气保障体系；

（3）2021—2030年：引领发展，建设日地系统空间天气保障体系。

战略任务

战略任务的核心是建设精确、可靠和实时的空间天气保障体系，四项基本能力是基本的建设单元，简要介绍如下。

■ 发展空间天气整体变化过程的天、地一体化的监测能力

空间天气源于太阳、经由行星际空间传输、引起地球空间环境变化、最终影响人类的活动，发展这种从太阳到地球的整体变化过程的监测能力是挑战空间天气科学前沿、认识变化规律、开展建模与预报、以及进行效应分析与工程服务的观测基础。鉴于我国国情和发展态势，我国空间天气专业卫星应以系列小卫星为主，与科学卫星、应用卫星搭载形成配合；地基观测以建设空间天气地基综合监测网为主。预期经过5、10、20年努力，按三个不同的空间区域：近地空间、地球空间和日地空间系统，分阶段建设天、地一体化的空间天气综合监测体系。

■ 提升空间天气科学前沿的自主创新能力

研究日地系统中有关空间天气发生、发展的基本过程 and 变化规律中的前沿科学问题，把人类的知识体系从碰撞系统到无碰撞系统拓展，以实现由跟踪模仿向自主原创、引领发展转型的跨越发展为目标，为经济社会发展、应对空间灾害和空间安全提供先进的科学基础和不断开拓前沿新领域的的能力。

■ 发展空间天气集成建模与预报能力

集成建模与预报能力系指根据地基、地基观测资料和科学认识，运用数理统计、数值模拟和数据同化等方法建立描述日地空间各组成区域的基本状态、结构和变化的模型，在此基础上进行日地系统空间天气整体变化的集成建模与预报，以及将研究模型转换为业务预报和应用需求模型的能力。它是实现空间天气效应分析与工程服务应用能力的、科学与应用之间的桥梁与纽带。

■ 拓展空间天气效应分析和工程服务的应用能力

现代社会的发展和正常运行要求空间天气科学不仅告诉空间发生

了怎样的变化、能够预报空间天气未来如何变化，而且要求能够对空间天气事件所伴随的空间天气要素如电磁辐射、高能带电粒子、等离子体和中性大气等的急剧变化对技术系统的影响进行预测、防护和评估。我国这些方面与国际水平相距甚远，只有一定跟踪研发能力，急待拓展其应用能力，需加大支持力度开展空间天气的影响机理、效应模型、防护策略等相关研究。

战略实施

空间天气按其性质与功能可划分为：基础空间天气、军用空间天气和民用空间天气三个领域，各自都有战略实施计划的建议。这里仅就基础空间天气领域——建议国家组织实施《国家空间天气十年计划》（以下简称《计划》）谈一点思考。

《计划》的基本思想：

夯实空间天气科学的天基、地基的探测基础，以我国在空间天气重大科学问题上取得自主创新的重大突破为牵引，将空间天气科学的四项基本能力——监测能力、创新能力、建模与预报能力和效应与工程应用能力集成升华为代表国家整体利益的国家空间天气科学自主创新体系；与已在推动组织或纳入计划的军用、民用计划形成有机配合，避免重复建设，实现统筹兼顾、倍增效益、科学发展；服务国家战略需求，为建设空间强国、拓展知识创新能力和提升应对严重空间天气灾害能力提供科学基础和支撑。

《计划》的主要领域：

①空间天气的天、地一体化的监测体系；②空间天气科学前沿和整体变化过程；③空间天气的集成建模与预报；④空间天气对人类活动的危害效应；⑤地球天气/气候与空间天气/气候间关系的探索；⑥空间天气保障与服务。

《计划》的主要任务：

①构建空间天气天地一体化监测体系；②组织实施空间天气科学前沿的国家“旭日”重大研究计划；

③进一步建设和完善我国空间天气的监测预警业务体系；④建设国家空间天气科学中心、空间天气联合预报会商中心和空间天气效应联合分析与防护中心；⑤实施我国领头的国际空间天气子午圈计划，推进全球空间天气联合数值预报中心建立；⑥共建一批航天和通信保障基地，推进我国空、天一体化保障体系建设；⑦培养一支活跃在国际科学舞台和保障空间安全的领军人才队伍；⑧健全空间天气管理、计划与协调体系，完善军民融合的运行

机制。

后记

从我国的国情出发，空间天气体制建设十分重要，可先在基础空间天气领域成立国家空间天气科学计划与协调领导小组，统筹考虑我国基础空间天气领域的发展，有利于尽快组织实施国家空间天气十年计划专项，关系实现我国空间天气科学从跟踪模仿向自主原创、引领发展转型的跨越式发展。此外，应充分发挥国家空间天气监测与预警中心的国家职能，进一步建设和完善国家空间天气监测预警

业务体系，有效应对空间天气灾害；再有，建立我国空间天气保障的军民融合共建体制十分重要，这是实现科学发展，事半功倍。最后，加大空间天气知识的科普宣传力度，使中国成为有空间天气知识的国家，这也是建设一个科学大国应有的知识水平。

（作者单位：中国科学院空间科学与应用研究中心）