

美国空间环境保障技术发展研究

陈凤贵, 徐燕, 张志标, 陈光明, 刘天军

(北京应用气象研究所, 北京 100029)

摘要: 在介绍世界空间环境研究的基础上, 详细分析了美国/美军空间环境研究和应用服务保障建设。结果表明, 美国/美军具有较强的空间环境探测能力、先进的空间环境预警预报技术和高效的空间环境效应评估分析能力, 空间环境保障技术和保障服务能力实属世界一流。

关键词: 地球空间; 环境保障; 美国军队; 发展研究

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2014.02.011

中图分类号: P35 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2014)02-0059-05

Research on the U.S. Space Environment Support Technology

CHEN Feng-gui, XU-Yan, ZHANG Zhi-biao, CHEN Guang-ming, LIU Tian-jun

(Beijing Institute of Applied Meteorology, Beijing 100029, China)

ABSTRACT: In order to compete for the “control of the sky”, outer space has become the new commanding elevation of strategic competition of countries all over the world. The United States as the representative of the developed countries has been in the field of research and application of space environment one step ahead, occupied the first position. Based on the worldwide study of space environment, the space environment research and application services security construction by the United States of America /American Army were analyzed in detail. The results show that the United States of America / American Army have high analysis ability in space environment prediction, advanced early-warning technology, efficient space environment effect evaluation ability, and world-class space environment protection technology and security services.

KEY WORDS: earth space; environment protection; the United States Army; development research

当前,随着地球空间科学技术的快速发展,地球外太空已经成为了至关重要的战场,外太空战争日益成为世界军事作战主要样式之一。美军和俄军一马当先,都建立了各自的“天军”部队^[1-2],外太空已

收稿日期: 2013-12-26; 修订日期: 2014-01-08

Received: 2013-12-26; Revised: 2014-01-08

作者简介: 陈凤贵(1967-),男,河南卫辉人,硕士,工程师,主要研究方向为气象水文装备论证。

Biography: CHEN Feng-gui(1967-), Male, from Weihui, Henan, Master, Engineer, Research focus: hydrologic meteorological equipment demonstration.

成为未来高技术战争的主战场。外太空环境如同地球低层大气环境一样,对外太空武器装备和作战指挥控制具有重要影响,外太空环境保障问题日益突出。有效遂行空间环境保障,需要开展空间环境监测与信息处理、预警预报、环境效应分析与应用和人工影响环境等装备技术体系建设,具备业务化空间环境保障能力。

1 国际空间环境保障发展概括

20世纪80年代以来,国际上许多科学组织积极推进国际合作,实施了一系列重大计划进行空间环境探测和研究。国际空间机构协调组织(IACG)从20世纪90年代中期开始整合各国发射的空间探测卫星,形成新的国际日地物理计划(ISTP)全球联测。在此基础上美国宇航局(NASA)制定了日地联系计划(SEC),并将空间环境的连锁变化确定为2000—2020年空间物理的主攻方向^[3]。2008年IACG又在美国与日共存(LWS)基础上,提出了国际与日共存计划(ILWS),集国际上各种空间探测卫星,重点监测日地空间,以确保航天环境安全^[4]。此外还有日地能量计划(STEP)、日地系统空间气候与天气计划(CAWSES)等^[5-6]。这些大型国际研究计划的实施,加深了对日地系统整体行为及各种空间现象之间物理联系的认识,推动了空间环境监测、分析、研究和预报一体化的进程^[7]。

2 美国/美军空间环境保障发展状况分析

1995年,美国率先制定“国家空间环境战略计划”,随后又分别于1997年、2000年发布了美国“国家空间环境实施计划”,准备在10年内完成空间环境监测体系建设,在物理和数值模拟方面建立从太阳到地面的空间环境预报模式,实现业务化及可靠的空間环境预报。在该计划的指导下,美国的空间环境保障业务在近十多年中发展迅速,初步建立了较为完整的业务技术体系,空间环境保障服务广泛而深入。美国国家大气海洋局(NOAA)的空间环境中心(SEC)和美国空军第55天气中队分别为民间用户和军方提供空间环境保障服务。2001年,SEC开

始真正进入使用数值预报的新阶段。目前SEC空间环境服务的业务化已经较为完善,产品的时间尺度涵盖了实时、短期(2~5天)、周、月、季,内容包括了空间环境的各种指数预报和警报,逐日空间环境事件的实况资料、评价、专家建议以及事后分析等,这些资料和信息每15 min更新1次,基本上做到了连续、实时滚动发布。2005年1月,SEC正式加入美国国家天气服务机构(NWS),标志着美国的空间环境业务正式成为日常气象服务的一部分。此外,美国国家航空航天局(NASA)专门成立了空间环境局,执行一系列空间环境观测任务和信息服务保障。

21世纪开始,美国重视将太阳-地球系作为一个有机整体来研究,并强调空间探测和研究为空间环境保障服务^[8]。2004年1月14日,美国总统布什正式宣布了“新空间探索计划”,提出了宇航员重返月球并以此为基地在2030年左右实施载人探险火星的新航天构想,为NASA确定了新的空间探索方向。这个新计划最终的目的是要通过不断探索新的空间领域来巩固和加强美国在科学技术、经济和军事上的全球霸主地位。美国宇航局2004年2月便发表了《空间探索的远景》,为落实布什总统的空间探索新计划制定了实施策略和指导原则。2005年2月,美国宇航局发布了《探索新纪元:美国宇航局2005和未来的发展方向》,确定了18个新的美国宇航局的战略目标,其中第15个是有关空间物理探测的战略目标。2006年4月,美国NASA联合了世界上主要的14个航天机构,讨论“全球探索战略”,协商在月球、火星探测中的合作,这表明美国正实质性地推动“新空间探索计划”。为适应美国整体空间探索战略目标的转移,将“日地联系计划”(SEC)扩大为“太阳-太阳系联系计划”(sun-solar-system connection, SSSC)^[9],目的是把太阳及月球、地球、火星和整个太阳系作为一个有机的、相互联系的系统进行探测研究,为实现美国新的空间探索计划服务^[9-10]。

美国军方对空间环境保障非常重视,在着重发展太空武器的同时,强调空间环境保障的重要性,并已建成较完善的空间环境保障体系。

2.1 美军空间环境探测能力

美军有较强的空间环境探测能力。由30个地

基和70个天基空间环境探测传感器,数十颗各类卫星组成。天基探测技术装备包括军用、民用、军民共用的空间环境探测卫星和在其它卫星搭载的仪器设备。

常用的地面探测设备有光学望远镜、射电望远镜、中频雷达、电离层测高仪、磁强计、宇宙线观测仪、宇宙噪声接收机、GPS接收机、气象火箭、高空气球等。在电离层探测方面,美军拥有电离层测高仪和其它一些仪器组成的世界范围的地基探测网(主要分布在北半球)提供电离层资料。空军拥有15个自动数字式电离层探测系统(DISS)提供电离层扰动测量资料。作为补充,喷气推进实验室也拥有一个全球电离层探测网。美国地质局(USGS)拥有一个主要分布在北半球的磁强计探测网,可以间接测量电离层和磁层电流强度。空军气象局从NOAA的空间环境中心(SEC)接收探测资料。此外美国还提出了先进的可移动雷达(AM ISR)计划^[11],通过2007—2012年和2013—2016年2个阶段的研制与发展,为研究迅速变化的中高层大气以及观测空间环境事件提供强有力的地面空间环境监测手段。

在2012年左右,太阳活动到达11年活动周期的峰值阶段。在这个阶段对太阳活动以及地球响应的警报预测更加严峻和重要。为了更全面更详细的理解太阳的活动,NASA在2009年发射太阳动力学观测台(Solar Dynamics Observatory(SDO))卫星^[12],对太阳开展高时空分辨率观测。2012年后发射6颗分为3组的太阳哨兵系列卫星,在不同位置对峰值时期太阳活动进行观测。2015年5月之后将发射太阳探测卫星Solar Probe Plus,对太阳风加速与能力传输进行观测。

美军正在发展的天基、地基探测系统——改进的天基/地基探测系统^[13]:

1) 通信/导航中断预测系统(C/NOFS),利用搭载在高度为600~700 km,倾角12°的轨道卫星上的7个传感器对电离层闪烁进行观测,诱发闪烁的空间环境状况,具有电离层闪烁预报能力。

2) 闪烁网络辅助决策系统(SCINDA),对地基系统进行改造,能够提供实时的地球迟到地区通信卫星中断状况定量现报和短期预报,提供通信中断分布图。

3) 紧凑型环境异常探测器(CEASE),搭载在国防部探测卫星上^[14],探测的卫星异常效应有表面带电、深层充电、高能质子和宇宙线的辐射效应等。

2.2 美军空间环境预警预报能力

美军空间环境预报技术发展得也比较全面。美军空军气象局现在Cray-5巨型计算机上运转的空间环境预报模式主要有太阳活动预报模式、磁层模式、电离层模式和中高层大气模式等。美国空间环境建模中心(CSEM)空间环境建模机构(SWMF)把太阳日冕、爆发事件、内日球层、太阳能量粒子、全球磁层、内磁层、辐射带、电离层电动力学以及中高层大气等集合到一个性能灵活的基于物理的空间环境耦合模型之中,对各区域的空间环境应用进行模拟预报。

磁层描述与预报模式(MSFM)^[15]是美国空军开发的一个非公开模式,它是基于由太阳风驱动的一个神经网络系统,对磁暴与磁亚暴有很好的预报能力,并能对造成充电的电子通量进行现报等。

NOAA的空间环境预报中心(SWPC)发布多种空间环境产品。利用GOES等卫星以及地基观测设施,实时监测多种空间环境参量,包括太阳X-ray流量1 min更新数据,包括质子通量、电子通量、估算的K_p指数等1~15 min更新数据的地球同步卫星环境数据,垂直总电子含量,全球D区吸收数据,极光活动图,太阳风参量,以及最新的Boulder-NOAA磁强计1 min更新数据、太阳活动总结报告、太阳事件报告、太阳地球物理数据报告与总结等。在现报的基础上,利用历史观测资料建立起来的经验模式以及物理模式等,SWPC还发布多种预报产品。每天发布未来3天的包括太阳活动预报、地球物理活动预报等的太阳地球物理预报,未来45天的A_p与F10.7预报,D区吸收预测,未来3天太阳耀斑活动等。每周发布一周亮点及27天预报,27天的10 cm射电流量、A_p与K_p极值展望等。每周发布太阳活动周期进展,每月发布月均太阳黑子数预测与10 cm射电流量。

空间环境预警也由SWPC负责,每天发布3 h更新的地球物理警报信息,以及X-ray事件、射电爆发事件、质子事件、高能电子通量、地磁突然骚扰、磁暴活动、平流层增温等。

2.3 美军空间环境效应评估分析能力

美军的空间环境与效应项目(SEE)已经取得了实质性进展和成果。SEE项目正式开始于1995财政

年,目的是收集、开发、并发布空间环境效应分析产品,满足军方在武器设计、制造和运行操控的保障需要。

在粒子辐射与效应方面,可以分析太阳平静期和活动峰年1~100 MeV质子通量,太阳能电池片1 MeV电子通量等效损伤比、电离剂量、设备衰退程度、单粒子翻转率等效应,开展卫星屏蔽分布、多层屏蔽模拟、空间辐射对微电子和微型传感器的微剂量效应研究等。利用捕获粒子和太阳质子流量能谱,估计铝屏蔽下的电离剂量与非电离能量损失,对辐射带、太阳耀斑和银河宇宙射线导致的电离辐射作出估计^[16]。建立了卫星污染与材料释气知识库,包括“和平号”和国际空间站在内的航天器污染、空间环境效应的文章和报告的数据库。

在航天器充电方面,利用DICTAT程序计算流过屏蔽层并沉降到介质内部的电荷,并据此得到介质内部最大电场,判断材料是否面临静电放电的危险;利用ESPIRE程序计算出表面静电势、采集电流和能耗损失,并计算低地球轨道卫星中性粒子密度和电子密度在内的17种主要参量数据;利用辐射环境天线阵列电荷传输(React)模式预测天基红外探测天线阵列因电离粒子辐射导致的电荷聚集情况;利用污染静电恢复模式对航天器产生污染的静电恢复特性进行模拟计算^[17]。

在材料分析方面,建立了材料退化与屏蔽特性数据库。通过对经太空飞行返回的航天器表面剥蚀测量与鉴定,为研制空间环境耐用材料提供评估标准。开发了航天器材料选择专家系统,可以对航天器材料的环境适应性能进行评估^[18],为航天器设计提供参考。

在大气与电离层效应分析方面,利用众多参考大气和电离层模式,估算航天器轨道的密度与温度值、粒子通量以及特定材料的原子氧剥蚀系数。利用全球经验模式,提供地面到轨道高度的大气密度、温度、压强、风、以及选定的大气成分^[19-20]。

3 结语

21世纪10年代初,为了了解和掌握太阳活动规律以及来自太阳等离子风暴对地球或太阳系中其他行星的影响,美国组织80多位科学家编制了美国未

来空间环境计划,在提出完善空间预报监测网的同时,确定了具体的科学探索目标以及未来数年如何实施空间环境研究的多项建议。2012年8月8日,美国国家研究理事会通报了未来10年太阳和空间物理环境优先部署的主旨调查报告(2013-2022)^[21]。美国空间环境及保障技术研究和应用将得到较大发展。

参考文献:

- [1] 李键.外太空作战部队——天军[R/OL].2012-01-12. <http://www.doc88.com/p-704221117376.html>.
LI Jian.Outer Space Combat Troops — Space [R/OL]. 2012-01-12. <http://www.doc88.com/p-704221117376.html>.
- [2] 赵春英.俄罗斯天军十年[R/OL].2012-01-20.http://news.china.com.cn/rollnews/content_12362033.htm.
ZHAO Chun-ying.The Russian Army Ten Years [R/OL]. 2012-1-20.http://news.china.com.cn/rollnews/content_12362033.htm.
- [3] 曹晋滨.空间天气学研究进展[R/OL].2005-07-28.<http://www.cas.cn/zt/jzt/wxcbzt/zgkxyyk>.
CAO Jin-bin.Space Weather Research[R/OL]. 2005-07-28. <http://www.cas.cn/zt/jzt/wxcbzt/zgkxyyk>.
- [4] 郭建广,张效信.国际上的空间天气计划与活动[J].气象科技进展,2011,1(4):18-25.
GUO Jian-guang, ZHANG Xiao-xin.The International Space Weather Projects and Activities[J].Advances in Meteorological Science and Technology, 2011, 1(4):18-25.
- [5] 王世金.空间环境探测技术的现状和发展趋势[R/OL].2007-01-05.<http://www.sgst.cn>.
WANG Shi-jin.Current Situation and Development Trend of Space Environment Detection Technology [R/OL].2007-01-05.<http://www.sgst.cn>.
- [6] 冯博.日地能量计划(STEP)概述[J].天文文献情报, 1989,(2):24-25.
FENG Bo.Overview on Solar-Terrestrial Energy Program (STEP) [J]. Astronomical Information, 1989,(2):24-25.
- [7] 方成.蓬勃发展的空间天气学[R/OL].2008-02-21.<http://www.cas.cn/jzd/jys/jyslt/200205/t20020531>.
FANG Cheng.The Vigorous Development of the Science of Space Weather [R/OL].2008-02-21.<http://www.cas.cn/jzd/jys/jyslt/200205/t20020531>.
- [8] 刘振兴.中国空间风暴探测计划和国际与日共存计划[J].地球物理学报,2005,48(3):724-730.

- LIU Zhen-xing. The Storm Space Chinese Exploration Program and International Living with a Star [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2005, 48(3): 724—730.
- [9] 中国空间科学学会. 空间科学技术学科发展研究报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2007.
- Chinese Institute of Space Science. Report on the Subject of Science and Technology Development Space [M]. Beijing: Science and Technology of China Press, 2007.
- [10] 王赤. 空间物理与空间天气探测与研究 [J]. 中国工程科学, 2008, 18(6): 41—45.
- WANG Chi. The Exploration and Research of Space Physics and Space [J]. Chinese Engineering Science, 2008, 18(6): 41—45.
- [11] 邓大松. 美国空间雷达计划 [J]. 电子工程信息, 2008(1). (余不详)
- DENG Da-song. American Space Radar Program [J], Electronic Information Engineering, 2008(1).
- [12] NASA. Solar Dynamics Observatory [R/OL]. 2008-12-06. <http://sdo.gsfc.nasa.gov>.
- [13] 中国国家航天局. 美国空间计划的阶段目标(三个十年目标) [R/OL]. 2008-04-28. <http://www.cnsa.gov.cn/>.
- Chinese NASA. USA Space Program Goals (three 10 year goals) [R/OL]. 2008-04-28. <http://www.cnsa.gov.cn/>.
- [14] 卢波. 国外空间探测发展分析与展望 [J]. 空间科学学报, 2010, 20(增刊): 80—92.
- LU Bo. Analysis and Prospect for Space Exploration Development [J]. Journal of Space Science, 2010, 20 (Suppl): 80—92.
- [15] 焦维新, 田天. 空间环境研究的现状与展望 [J]. 航天器环境工程, 2007, 24(6): 337—340.
- JIAO Wei-xin, YIAN Tian. Research Status and Prospect of Space Environment [J]. Spacecraft Environment Engineering, 2007, 24(6): 337—340.
- [16] 张紫霞, 魏志勇, 方美华. 空间环境中子效应及测量技术 [J]. 装备环境工程, 2009, 6(4): 11—15.
- ZHANG Zi-xia, WEI Zhi-yong, FANG Mei-hua. Space Environmental Neutron Effect and Measurement Technology [J]. Equipment Environmental Engineering, 2009, 6(4): 11—15.
- [17] 曹敏. 飞行器防空间静电放电设计和试验技术 [J]. 装备环境工程, 2011, 8(4): 117—120.
- CAO Min. Space Electrostatic Discharge Design and Testing Technology for Anti Aircraft [J]. Equipment Environmental Engineering, 2011, 8(4): 117—120.
- [18] 李涛, 易忠, 高鸿. 航天器材料空间环境适应性评价技术 [J]. 装备环境工程, 2012, 9(3): 37—40.
- LI Tao, YI Zhong, GAO Hong. Environmental Adaptability Evaluation Technology of Spacecraft Materials [J]. Equipment environmental engineering, 2012, 9(3): 37—40.
- [19] 陈凤贵, 陈光明, 刘克华. 临近空间环境及其影响分析 [J]. 装备环境工程, 2013, 10(4): 71—75.
- CHEN Feng-gui, CHEN Guang-ming, LIU Ke-hua. The Near Space Environment and Its Effect Analysis [J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(4): 71—75.
- [20] 童靖宇, 向树红. 临近空间环境及环境试验 [J]. 装备环境工程, 2012, 9(3): 1—5.
- TONG Jing-yu, XIANG Shu-hong. The Near Space Environment and Environment Test [J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(3): 1—5.
- [21] 邓雪梅. 未来十年的天体探索目标——美国太阳以及空间物理环境第二个十年计划 [J]. 世界科学, 2012, (10): 29—31.
- DENG Xue-mei. The Next Ten Years Exploration Target Objects—USA Solar and Space Physics Environment of the Second Ten Year Plan [J]. The World of Science, 2012, (10): 29—31.