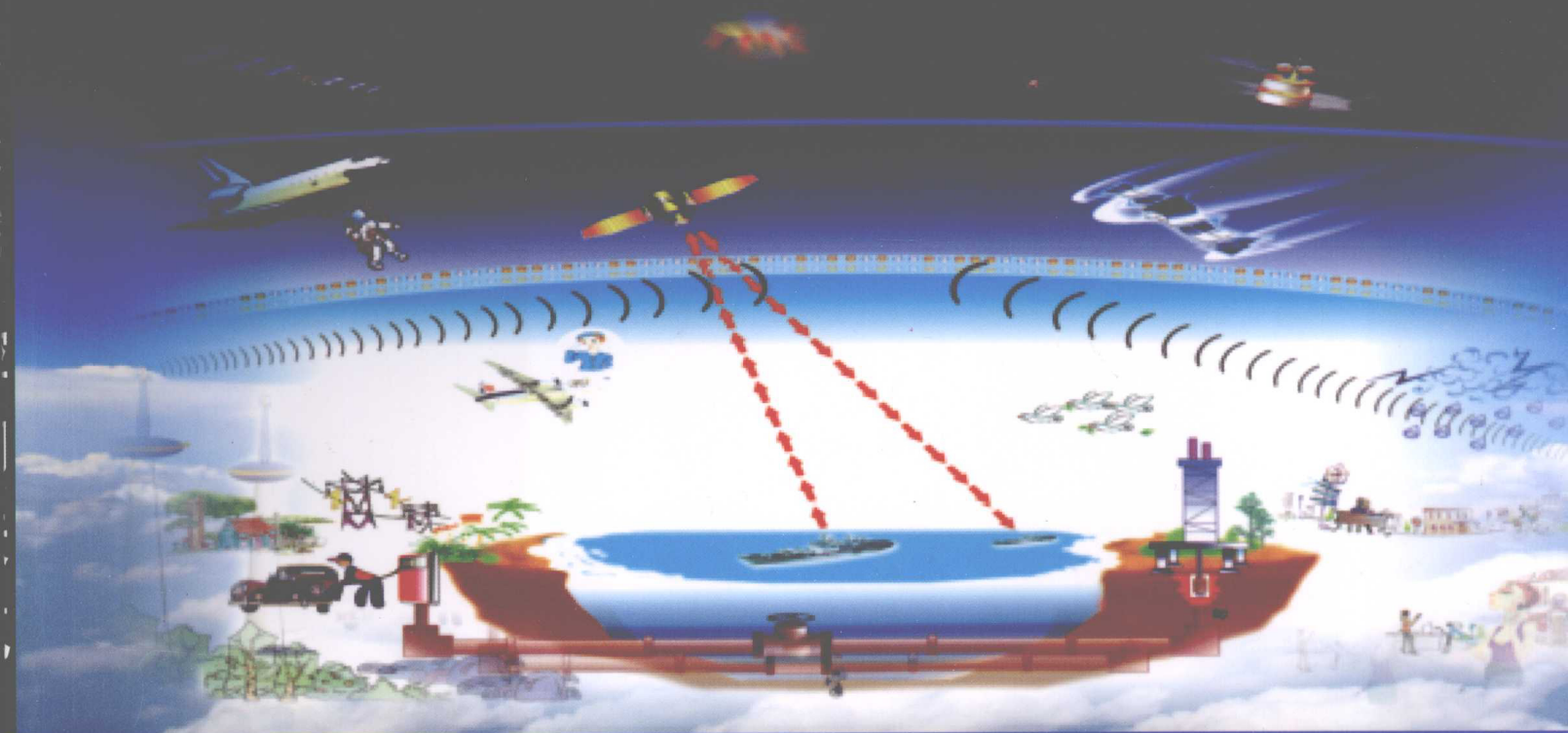


现代气象业务丛书

丛书主编：郑国光



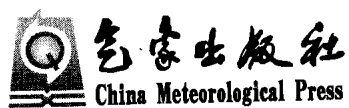
空间天气

王劲松 吕建永 主编

现代气象业务丛书

空间天气

主 编 王劲松 吕建永



内容简介

本书描述了我国空间天气业务的设计理念与框架,介绍了空间天气科学的基本知识,指出了我国空间天气业务在未来一段时间的努力方向,可为国家级业务的细化与改进提供指导,为省级业务的设计提供基础。全书共分六章,第1章对空间天气业务进行了综述;第2章对空间天气业务中涉及的主要科学概念进行了介绍;第3章讲述了空间天气现象对相关技术系统的影响以及空间天气服务的技术方向;第4章叙述了天地一体化监测的规划和已有能力;第5章介绍了空间天气预报的主要内容、方法以及预报结果检验;第6章简要介绍了空间天气灾害及其初步防御和减缓建议。

本书可作为空间天气业务人员培训教材,也可为高等院校和科研院所相关专业的学生及科技人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

空间天气/王劲松等主编. —北京:气象出版社,2009.12

(现代气象业务丛书)

ISBN 978-7-5029-4914-3

I. ①空… II. ①王… III. ①空间科学:天气学 IV. ①P44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 237468 号

出版发行:气象出版社

地址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总编室:010-68407112

网址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:王桂梅

封面设计:博雅思企划

责任校对:赵 璠

印刷:北京中新伟业印刷有限公司

开本:889 mm×1194 mm 1/16

字数:372 千字

版次:2010 年 3 月第 1 版

定价:32.00 元

邮政编码:100081

发行部:010-68409198

E-mail: qxcbs@263.net

终审:章澄昌

责任技编:吴庭芳

印张:11.25

插页:4

印次:2010 年 3 月第 1 次印刷

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

《现代气象业务丛书》编写委员会成员

主 任 郑国光

常务副主任 许小峰

副 主 任 矫梅燕 高学浩 胡 鹏 李 刚

委 员(按姓氏笔画为序)

王式功 王晓云 刘燕辉 孙 健

宋连春 张人禾 张庆红 张俊霞

李国平 杨 军 杨修群 肖子牛

陈洪滨 赵立成 程建军 端义宏

《现代气象业务丛书》审定专家组成员

(按姓氏笔画为序)

丁一汇 丑纪范 王守荣 伍荣生 宇如聪 许健民

吴国雄 李泽椿 沈晓农 陈联寿 赵柏林 徐祥德

涂传诒 陶诗言 陶祖钰 巢纪平

《现代气象业务丛书》编写委员会办公室成员

主 任 高学浩(兼)

副主任 陈云峰 于玉斌 胡丽云 郑有飞

成 员 章国材 董一平 曹晓钟 刘莉红 俞小鼎

俞卫平 邹立尧 罗林明 董章杭 成秀虎

马旭玲 张 德 赵亚南

《空间天气》分卷编写人员

主 编 王劲松 吕建永

撰稿人（按姓氏笔画排列）

毛 田	王云冈	王家龙	乐贵明	刘丹丹
刘立波	余 涛	张绍东	张效信	李嘉巍
杜 丹	杨光林	陈 博	陈鹏飞	赵明现
唐云秋	徐寄遥	柴志琴	黄 聪	敦金平
谢 伦	薛炳森			

总 序

《国务院》关于加快气象事业发展的若干意见》(国发〔2006〕3号,以下简称“国务院3号文件”)明确要求,新时期气象事业发展要以邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导,全面贯彻落实科学发展观,坚持公共气象的发展方向,按照一流装备、一流技术、一流人才、一流台站的要求,进一步强化观测基础,提高预报预测水平,加快科技创新,建设具有世界先进水平的气象现代化体系,提升气象事业对经济社会发展、国家安全和可持续发展的保障与支撑能力,为构建社会主义和谐社会,全面建设小康社会提供一流的气象服务。到2020年,建成结构完善、功能先进的气象现代化体系,使气象整体实力接近同期世界先进水平,若干领域达到世界领先水平。

发展现代气象业务,是气象现代化体系建设的中心任务。为此,中国气象局党组认真总结中国特色气象事业发展改革的经验,深入分析我国经济社会发展对气象事业发展的需求,坚持“公共气象、安全气象、资源气象”发展理念,扎实推进业务技术体制改革,加快推进现代气象业务体系建设,努力实现国务院3号文件提出的实现气象现代化的战略目标,并下发了《中国气象局关于发展现代气象业务的意见》(气发〔2007〕477号)。

现代气象业务体系主要由公共气象服务业务、气象预报预测业务和综合气象观测业务构成,各业务间相互衔接、相互支撑。现代气象业务体系建设要以公共气象服务业务为引领、气象预报预测业务为核心、综合气象观测业务为基础。做好现代气象业务体系的顶层设计,扎实推进现代气象业务体系的建设,是当前和今后一个时期气象现代化体系建设,推动气象事业科学发展的重点任务。而编写一套能够体现现代气象科技水平和成果的《现代气象业务丛书》(以下简称《丛书》),以满足各类从事气象业务、科研、管理以及教育培训等人员的实际需要,是中国气象局党组推进现代气象业务体系建设的具体举措。

《丛书》遵循先进性、实用性和前瞻性的原则,紧密围绕建设现代气象业务体系的总体要求,以适应新形势下气象业务技术体制改革需要和以提高气象业务科技水平和气象服务能力为宗旨,立足部门,面向行业,总结分析了国内外现代气象科技发展的最新成果和先进的业务技术体制与流程。《丛书》的编写过程是贯彻落实科学发展观和国务院3号文件的具体实践,也是科学推进现代气象业务体系建设的重要内容。

《丛书》共计十五分册,分别是《现代天气业务》、《现代数值预报业务》、《现代气候业务》、《气候变化业务》、《现代农业气象业务》、《大气物理与人工影响天气》、《大气成分与大

气环境》、《气象卫星及其应用》、《天气雷达及其应用》、《空间天气》、《航空气象业务》、《综合气象观测》、《气象信息系统》、《现代气象服务》和《气象防灾减灾》。

《丛书》编写工作是在气象部门科研业务单位、高等院校和科研院所以及气象行业管理专家、科技工作者的参与和大力支持下,在《丛书》编委会办公室的精心组织下进行的,凝聚了各方面的智慧。在此,我对为《丛书》编写工作付出辛勤劳动的专家、学者及参与编写工作的单位和有关人员表示诚挚的谢意!

郑国光

2009年12月于北京

前言

空间天气业务是一项新业务,这个“新”不仅是指空间天气业务本身开展的时间很短,也指其学科基础相比其他业务的学科基础而言十分年轻。鉴于目前还不曾见到系统讨论和介绍空间天气业务的书籍,因此本书自然具有两个特性:出版意义很大;编写难度也很大。

从2002年国家空间天气监测预警中心成立以来,空间天气业务开始按照气象业务公共服务、预报预测和综合观测的框架进行设计和建设。在中国气象局党组的精心呵护和全力扶持下,在同行的大力支持和业务人员的共同努力下,中国气象局的空間天气业务已经基本完成了业务系统的设计,形成了基本框架,并且建成了雏形。目前,国家空间天气监测预警中心不仅在国内空间天气界的地位日渐重要,在国际平台上的影响力也日益凸显。但是应该清醒地看到,与其他气象业务相比,空间天气业务的成熟性是显然的。空间天气监测规划的实施刚刚起步不久,预报的客观标准和规范体系还在设计之中,特别是服务的能力和效益还亟待大力提高。另外,虽然省级空间天气业务随着地基监测系统的建设已经开始出现,但其业务目标与流程都还缺乏清晰的表述。因此,本书所描述的业务系统更多地体现在已经完成的设计和构想,所指出的是目前认识到的业务发展方向,而不是已经成型的业务本身。

鉴于上述情况,本书被命名为《空间天气》而非《空间天气业务》,其定位是用于描述空间天气业务的设计理念与框架,介绍空间天气科学的基本知识,指出空间天气业务在未来一段时间的努力方向,对国家级和省级业务人员进行培训,为国家级业务的细化与改进提供指导,为省级业务的设计提供基础,同时也为高等院校和科研院所相关专业学生和科技人员提供参考。为达到此目的,本书第1章 绪论:对空间天气业务进行了综述,包括空间天气业务的范畴、需求分析、发展的紧迫性、国内外发展现状与趋势、未来的建设原则和目标,以及我国空间天气业务现有布局和流程等;第2章 空间天气因果链:对空间天气业务中涉及的自然对象、科学概念和空间天气事件发生发展的因果链条进行了必要的介绍和综述;第3章 空间天气效应与服务:讲述了第2章中提到的空间天气现象对相关技术系统的影响,指出了空间天气服务的技术方向;第4章 空间天气监测:从天基和地基两个方面叙述了比较完备的空间天气业务监测系统所具备的主要内容,同时也介绍了我国已有和规划中的业务监测能力;第5章 空间天气预报:介绍了空间天气预报的要素与时效、目前常用的技术方法与检验手段,以及较完备的业务预报应该涉及的主要内容等;第6章 空间天气灾害:从防灾减灾的角度对著名的空间天气灾害事例进行了分析,并提出初步的防御和减缓建议。

本书由王劲松和吕建永主编,相关院校的专家和国家空间天气监测预警中心的部分业务人员参与了编写。第1章由王劲松根据国家空间天气监测预警中心相关的调研报告、业务规划和战略设计等背景材料综合而成,杨光林参与了整理,预警中心空间天气室的全体人员参与了这些背景材料的编写工作。第2章由吕建永负责,各节的撰写人员依次为2.1:陈鹏飞(南京大学);2.2:吕建永;2.3:谢伦(北京大学);2.4:张效信、牡丹;2.5:刘立波(中国科学院)、吕建永、毛田;2.6:张绍东(武汉大学)、徐寄遥(中国科学院)。第3章由薛炳森在相关课题的调研和研究成果基础上提炼而成,其中与通信、导航定位相关的部分由余涛撰写。第4章由余涛负责,张效信、薛炳森、敦金平、李嘉巍、黄聪、毛田和王云冈参与编写。第5章由吕建永负责,乐贵明、王家龙(中国科学院)、陈博、黄聪、刘丹丹、牡丹参与了编写。第6章由张效信负责,牡丹、唐云秋参加了编写。王劲松和吕建永多次对全书进行了统稿,刘丹丹、黄聪、余涛、牡丹、毛田、赵明现、柴志琴为本书做了大量细致和繁琐的整理、修改及其他辅助工作(以上未注明单位的人员均为国家空间天气监测预警中心的工作人员)。丛书编委会、气象培训中心以及相关职能司的

领导和工作人员为本书的编写和出版付出了辛勤的努力,气象出版社的王桂梅同志为本书的最后成型作出了很大的贡献。

在本书的编写过程中,局内外专家给予了大力的支持,并提出了很多极好的建议和意见,在此编写组向这些专家表示衷心的感谢!特别是涂传诒院士、肖佐教授、徐文耀研究员、李黄研究员、刘玉洁研究员、冯学尚研究员、曹晋滨教授等。另外,本书大量参考了国内外的众多正式出版物和内部调研材料,在此对其作者表示衷心的感谢。但确有一些因归属不明或因我们的工作遗漏而没有列出的文献,编写组谨致以深深的歉意。

空间天气科学还是一门年轻的学科,空间天气业务是一项刚起步的业务,限于编写者的水平与能力,本书中值得进一步商榷,甚至错误的内容在所难免,敬请读者不吝指出,以便修订和改进。

编者
2009年12月

目 录

第 1 章 绪论/1

- 1.1 空间天气业务的范畴/1
- 1.2 空间天气业务的需求分析/2
 - 1.2.1 经济社会的需求/2
 - 1.2.2 国家安全的需求/2
 - 1.2.3 空间天气学及相关学科发展的需求/3
- 1.3 空间天气业务发展的紧迫性/3
 - 1.3.1 空间天气灾害对人类的影响日益严重/3
 - 1.3.2 国家对空间天气业务的需求日益迫切/4
 - 1.3.3 业务能力和水平亟待提高/4
- 1.4 国内外空间天气业务发展状况/4
 - 1.4.1 国外空间天气业务发展状况/4
 - 1.4.2 国内相关单位的发展状态/6
 - 1.4.3 国家空间天气监测预警中心的发展状况/7
 - 1.4.4 业务和科学计划的衔接/7
 - 1.4.5 空间天气业务发展存在的问题/7
- 1.5 空间天气业务的发展趋势/8
 - 1.5.1 空间天气监测发展趋势/8
 - 1.5.2 空间天气预报发展趋势/8
 - 1.5.3 空间天气服务发展趋势/8
 - 1.5.4 空间天气业务研究发展趋势/8
- 1.6 空间天气业务建设的原则和目标/9
 - 1.6.1 基本原则/9
 - 1.6.2 发展目标/9
- 1.7 我国空间天气业务布局及流程/10
 - 1.7.1 空间天气业务布局/10
 - 1.7.2 空间天气业务构架/12
 - 1.7.3 国家级业务流程/12

第 2 章 空间天气因果链/14

- 2.1 太阳/14
 - 2.1.1 太阳的基本结构/15
 - 2.1.2 太阳活动与爆发/16
 - 2.1.3 太阳活动周/21
- 2.2 太阳风/22
 - 2.2.1 太阳风的起源/22

- 2.2.2 太阳风的结构和成分/23
- 2.2.3 宇宙线/30
- 2.3 地磁场/32
 - 2.3.1 地磁场的基本形态与演化/32
 - 2.3.2 地磁场扰动/36
- 2.4 磁层/39
 - 2.4.1 磁层的基本形态/39
 - 2.4.2 磁暴/41
 - 2.4.3 亚暴/41
 - 2.4.4 辐射带的形成和基本特征/42
- 2.5 电离层/43
 - 2.5.1 电离层的形成/44
 - 2.5.2 电离层的基本形态/45
 - 2.5.3 电离层的变化性/46
 - 2.5.4 电离层扰动/48
 - 2.5.5 磁层-电离层耦合和极光/53
 - 2.5.6 电离层与热层的耦合/55
- 2.6 中高层大气/56
 - 2.6.1 中层大气/56
 - 2.6.2 热层/56
 - 2.6.3 中高层结构参数/57
 - 2.6.4 热层大气的暴时响应/59
 - 2.6.5 中层大气闪电/61

第3章 空间天气效应与服务/63

- 3.1 概述/63
- 3.2 航天器空间天气效应/65
 - 3.2.1 卫星空间天气效应概述/66
 - 3.2.2 空间辐射效应/67
 - 3.2.3 高层大气效应/67
 - 3.2.4 表面材料的化学损伤效应/68
 - 3.2.5 地球磁场对姿态的影响/68
- 3.3 辐射效应机理/69
 - 3.3.1 单粒子事件/69
 - 3.3.2 总剂量效应/70
 - 3.3.3 太阳能电池辐射损伤/70
- 3.4 充放电效应/71
 - 3.4.1 深层充放电效应/71
 - 3.4.2 表面充电效应/71
 - 3.4.3 空间等离子体致高电压太阳阵(HVSA)的电流泄漏效应/72
- 3.5 地磁场效应/72
- 3.6 空间碎片/73
 - 3.6.1 空间碎片的来源及其影响/73

- 3.6.2 避免空间碎片危害的措施/73
- 3.6.3 碎片对地面系统的威胁/74
- 3.7 原子氧剥蚀效应/75
 - 3.7.1 原子氧的形成和分布/75
 - 3.7.2 原子氧的剥蚀作用/76
 - 3.7.3 撞击掏蚀效应/77
- 3.8 航天员生物学效应/77
- 3.9 航空机组人员辐射效应/79
- 3.10 地面系统效应(管线 GIC 效应)/80
- 3.11 电离层效应/82

第 4 章 空间天气监测/83

- 4.1 空间天气监测的主要对象/83
 - 4.1.1 太阳/83
 - 4.1.2 行星际和磁层/85
 - 4.1.3 电离层与中高层大气/86
- 4.2 天基监测/87
 - 4.2.1 成像探测/87
 - 4.2.2 粒子探测/97
 - 4.2.3 主要业务探测卫星/101
- 4.3 地基监测/102
 - 4.3.1 太阳监测/102
 - 4.3.2 地磁场监测/105
 - 4.3.3 宇宙线监测/106
 - 4.3.4 中高层大气监测/106
 - 4.3.5 电离层监测/112
 - 4.3.6 组网监测/118
- 4.4 天地一体化监测/120
 - 4.4.1 地基观测/120
 - 4.4.2 天基观测/120

第 5 章 空间天气预报/122

- 5.1 预报要素与时效/122
 - 5.1.1 太阳活动预报/122
 - 5.1.2 行星际天气预报/122
 - 5.1.3 磁层天气预报/123
 - 5.1.4 电离层天气预报/123
 - 5.1.5 中高层大气天气预报/123
- 5.2 预报方法和预报检验/123
 - 5.2.1 统计预报/123
 - 5.2.2 数值预报/124
 - 5.2.3 预报检验/124
- 5.3 预报内容/127
 - 5.3.1 太阳活动预报/127

	5.3.2 行星际天气预报/129
	5.3.3 磁层天气预报/135
	5.3.4 电离层天气预报/138
	5.3.5 中高层大气预报/140
	5.4 美国的空间天气业务预报/142
	5.4.1 空间天气机构和预报能力/142
	5.4.2 目前美国主要的业务预报模式/142
第 6 章	空间天气灾害/146
	6.1 灾害性空间天气/146
	6.1.1 基本概念/147
	6.1.2 主要类型/147
	6.1.3 影响领域/147
	6.2 空间天气灾害/150
	6.2.1 基本概念/150
	6.2.2 主要类型/150
	6.3 空间天气灾害事例分析/150
	6.3.1 航天安全/150
	6.3.2 航空安全/152
	6.3.3 通信、导航、定位故障/152
	6.3.4 长距离管网系统故障/153
	6.4 空间天气灾害防御/155
参考文献	/156
附录 1	国内空间天气地基监测仪器情况简表/162
附录 2	名词缩略语/164

第1章 绪论

中国气象局

本章对空间天气业务进行了综述,包括空间天气业务的范畴、需求分析、发展的紧迫性、国内外发展现状与趋势、未来的建设原则和目标以及我国空间天气业务现有布局和流程等。

1.1 空间天气业务的范畴

按照美国《国家空间天气战略计划》的定义:空间天气指的是“太阳上和太阳风、磁层、电离层和热层中可影响天基和地基技术系统的正常运行和可靠性,危及人类健康和生命的条件或状态”。空间天气可能引发空间天气灾害,最终影响人类的活动,特别是影响到高科技依赖的经济社会和国家安全。人类已经认识到,日地空间环境与地球固体、海洋和大气环境一样,与人类的生存发展息息相关。空间天气业务的出现是人类文明(科技和社会)发展的必然结果,它正迅速成为国际科技活动的热点之一。

空间天气业务是指涉及空间天气有关的业务技术活动,包括空间天气监测、预警预报、应用服务、研发以及相关的基础设施建设等,是国家基础设施现代化的重要标志之一。

空间天气业务在我国的出现是空间天气学在我国蓬勃发展的结果之一。1999年中华人民共和国科学技术部等10部委提出了《国家空间天气战略规划建议》,标志着我国大规模空间天气研究的开始;2002年国务院批准中国气象局成立“国家空间天气监测预警中心”,标志着我国国家级空间天气业务的开始。2006年1月12日国务院正式下发《关于加快气象事业发展的若干意见》,对中国气象局的空間天气监测预警工作提出了更加明确的要求,表明我国空间天气业务进入全面启动阶段,并从政策法规层面上将空间天气业务确定为气象事业的重要组成部分。

空间天气业务是传统气象领域的拓展,是随着人类活动领域拓展到外层空间以及人类对高技术的依赖性日益增强而必然产生的业务。空间天气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监测和预报,并成为相关气象综合服务的基础。

中国的空间天气业务是我国气象事业的公益性、现实性、基础性和前瞻性的具体体现之一,其战略定位是:

- (1) 满足经济社会和国家安全对空间天气服务的需求,增进社会公众对空间科技和气象事业的理解和关注。
- (2) 提升我国防御与减缓空间天气灾害的能力,为国家的可持续发展提供保障。
- (3) 牵引空间天气学及相关学科的发展,促进科技生产力的进步。
- (4) 提高我国在相关领域的国际地位,为人类和平利用太空作出贡献。

1.2 空间天气业务的需求分析

空间天气对人类活动具有深刻影响,并关系到经济社会发展和国家的安全,空间天气业务面临着广泛的日益增长的用户需求。

1.2.1 经济社会的需求

空间天气是国家重要的基础设施安全运行的保障,国家经济生活的方方面面(如通信、广播、导航、航空航天、气象预报业务以及长距离油气管线、输电网和金融服务等)都可能受到空间天气的影响(图 1.1),同时,这种需求还在日益增长(图 1.2)。



图 1.1 空间天气对人类活动的影响示意图

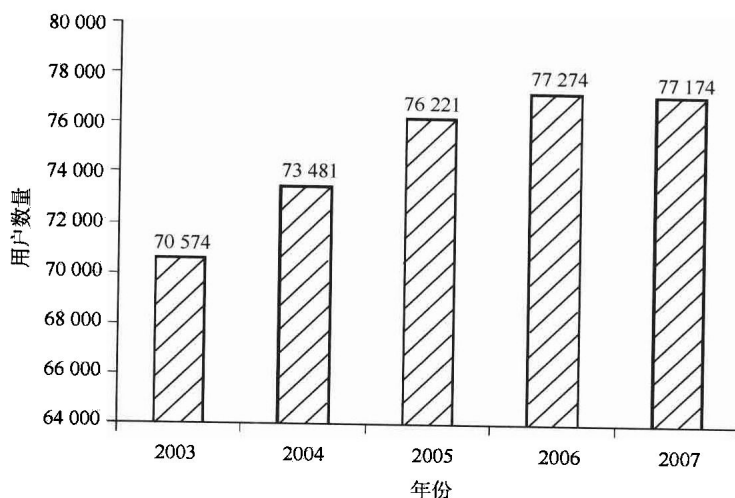


图 1.2 美国 SWPC 统计的空间天气用户增长情况 (NOAA/SWPC)

1.2.2 国家安全的需求

随着现代科技的发展,各种依赖空间天气状况的高技术武器装备陆续投入使用,这在大幅度提高作战效能的同时,也增强了武器装备对空间天气的依赖,使得空间天气业务成为服务国防建设的新亮点。遇到灾害性空间天气发生时,常造成通信中断、卫星工作异常以及导弹预警系统失效等,这不但增加了

各种信息化设备对现实战场的感知困难,而且也严重影响了整体作战效能的发挥。因此,对空间天气的研究也是国家安全保障的需要。

1.2.3 空间天气学及相关学科发展的需求

1.2.3.1 科学数据获取的需求

空间天气学的发展必须基于不断获取的对日地空间不同时空尺度的观测数据,其发展需要持续的对于关键区域的相互可对比的观测作为支撑。以科学研究为目标的探测是间断的,问题导向是难以相互匹配的。而业务中的观测是连续的,区域导向且相互配合的。因此空间天气业务观测是空间天气学及相关学科研究不可替代的数据源。科研部门不可能投入足够的人力物力来建设和维护空间天气综合监测网,要全面提升我国空间科学的研究水平,实现跨越式发展,取得重大原创性科学成果,必须依靠空间天气业务部门为其提供持续可靠的、天地一体化的空间天气监测数据。

1.2.3.2 科技成果转化的需求

伴随着国家对空间天气基础与应用研究力度的不断增大,我国科学家在空间天气的各种基本物理过程和机理研究,特别是在灾害性空间天气因果链的发生、发展和传播研究等方面不断取得显著进展。但是,这些研究大都侧重于科学与技术层面,在向业务服务能力的转化方面,还远远不能直接满足经济社会与国家安全的需求,因而不能体现其应用价值。因此,目前迫切需要实现相关科技成果向现实生产力的转化。在促进科技成果的转化过程中,要考虑处于科技成果形成与转化不同环节或单位的“有所为、有所不为”,着眼点放在宏观上的整体化与一体化,而不是科研院所、高等院校自己搞成果产业化,这就需要空间天气业务部门来牵头将空间天气科研成果转化为现实生产力,在科研成果的形成部门与用户需求之间建立起联结供需的桥梁。

1.2.3.3 学科交叉发展的需求

多学科交叉是空间天气业务的一大特点。空间天气学所覆盖的学科领域,包括太阳物理、空间物理、大气物理、地球物理、流体力学、等离子体物理、核物理等多学科交叉,也包括正在迅速拓展中的航天、信息、材料、生命和国家安全等领域的交叉性学科。但从研究的角度形成的交叉又无法发展形成系统的框架。要形成这种框架必须有一个从本质上就需要这种交叉作支撑的体系来牵引,这种体系就是空间天气业务体系。

1.3 空间天气业务发展的紧迫性

1.3.1 空间天气灾害对人类的影响日益严重

随着人类对空间开发与利用的规模加剧和程度加深,空间日益成为维护国家安全的“战略高地”,空间产业逐渐成为促进国民经济持续发展的重要“支柱”。人类的日常生活越来越依赖于无线通信、卫星通信、卫星电视、卫星导航定位等卫星高技术系统,而这些技术系统在空间天气灾害面前又显得非常脆弱。一次卫星失效就可能造成大范围的通信中断、电视转播中断、金融交易停止、信用卡结算中断,甚至计算机网络中断……恶劣的空间天气会给人类活动带来巨大损失,例如:1989年3月发生的历史上罕见的空间天气灾害事件,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。从此以后,几乎每年都有重大的空间天气灾害事件发生。国内外航天实践表明,人类在开发和利用空间的过程中遭遇到空间天气的巨大威胁,而灾害性空间天气是卫星在轨故障的主要原因之一,雄居各种故障因素的首位。国际上和我国卫星异常或故障近1/3是由变化的空间天气所造成。而且空间活动规模越大、空间技术水平越发达,空间天气灾害的危害越突出、越严重。

1.3.2 国家对空间天气业务的需求日益迫切

随着科技的不断进步,人类对空间的依赖性进一步增大,经济社会对空间天气保障的需求日趋紧迫。在未来几十年内,我国各类卫星、宇宙飞船、空间站发射升空等空间活动将不断增加。在我国航天事业蒸蒸日上的同时,亟需空间天气业务为之保驾护航。在军事领域,为抢占 21 世纪的战略制高点,发达国家目前都在加紧筹备和组建“天军”。严酷的事实表明,继陆、海、空三维战场之后,外层太空已成为名副其实的“第四维战场”。现代军事中的侦察、监视、预警、导航、高精度打击武器等极易受空间天气的干扰,我国的国防安全对空间天气业务提出了更加紧迫的需求。

1.3.3 业务能力和水平亟待提高

当前空间天气预报的水平与实际需求还有较大差距,预报的水平估计相当于气象天气预报 20 世纪五六十年代的水平,远远满足不了经济社会与国家安全的需求。国外空间大国(以美国为首)在 20 世纪 60 年代就开展了空间天气监测和预报工作,在随后的 40 年中相继开展了一系列空间天气探测和研究计划,并成立了专门的空间天气应用部门。我国目前没有专门的空间天气监测卫星,空间天气预报在很大程度上还是依赖国外卫星的数据来开展工作,使得我国在空间天气预报方面与国外空间大国有较大的差距。借鉴天气预报发展历史,亟需大力开展空间探测,针对日地空间关键的区域和空间天气连锁变化过程进行监测。在自主监测数据的基础上,提高空间天气预报能力和水平,以满足日益增长的需求。

1.4 国内外空间天气业务发展状况

1.4.1 国外空间天气业务发展状况

随着人类文明的飞速发展,人类活动越来越多地依赖各种天基和地基系统,而这些系统却在极端空间天气面前显得非常脆弱。一些国家逐渐意识到极端空间天气的危害,纷纷制订空间天气计划,开展空间天气服务。

美国于 1995 年率先制订“国家空间天气战略计划”,随后又分别于 1997 年、2000 年发布了美国“国家空间天气执行计划”。在该计划的指导下,美国的空间天气业务在近 10 年中发展迅速,初步建立了较为完整的业务技术体系,空间天气服务广泛而深入。美国航空航天局(NASA)执行一系列空间天气观测使命和信息服务;美国国家海洋大气局(NOAA)的空间天气预报中心(SWPC,原空间环境中心 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天气服务。欧洲空间局(ESA)以市场为引导,主持制订了欧洲空间天气计划。法国、德国、英国、意大利、俄罗斯、加拿大、瑞典、日本和澳大利亚等数十个国家也都制订了各自的空间天气起步计划。

1.4.1.1 美国 NOAA 空间天气预报中心

2007 年 10 月 1 日,“空间环境中心(SEC)”正式更名为“空间天气预报中心(SWPC)”。“空间环境”一词的出现曾经促进了政府部门和社会公众对日地空间的理解,而“空间天气”更能体现空间区域物理特性的动态特征和不同物理要素之间的内在联系。另外,新的名称清晰地传达了空间天气预报中心的职能和业务范围及其可操作性,并与其他 8 个美国国家环境预报中心(NCEP)保持一致。名称的更改体现了空间天气业务与传统气象业务之间天然的联系,更能体现空间天气的内涵,以及 SWPC 作为美国国家空间天气业务机构的主导地位。

2001 年,SWPC 开始真正进入使用数值预报的新阶段。目前,SWPC 空间天气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 d)、周、月、季,内容包括了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,这些资料和信息每 15 min 就更新一次,基本上做到了连续滚动发布。2005 年 1 月,SWPC 正式加入国家天气局(NWS),标志着美国