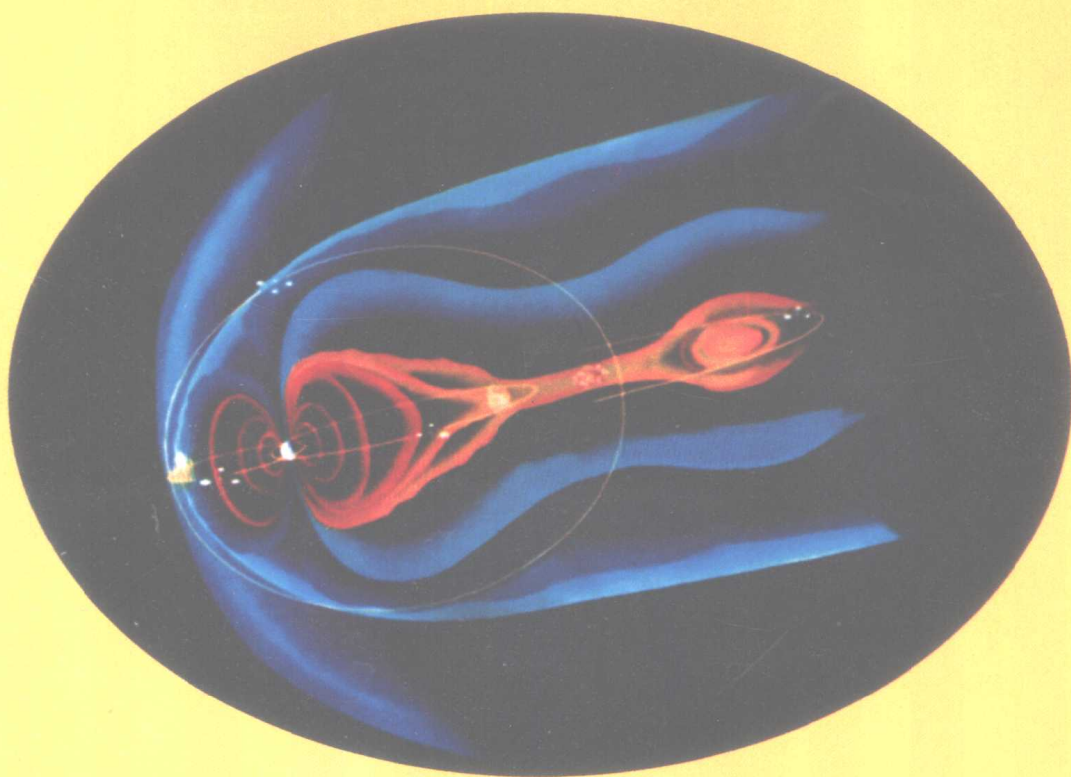


空间物理前沿进展

濮祖荫 主编

PEKING UNIVERSITY

1898--1998



气象出版社

图书在版编目(CIP)数据

空间物理前沿进展/濮祖荫主编. —北京:气象出版社 1998. 4

ISBN 7-5029-2492-2

I. 空… II. 濮… III. 空间物理学-动态 IV. P35-1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 07513 号

气象出版社出版发行

(北京市海淀区白石桥路 46 号 邮编:100081)

责任编辑:郭彩丽 终审:周诗健

封面设计:郭彩丽 责任技编:都平 责任校对:黄慧靖

*

北京昌平环球印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:18 字数:435.2 千字

1998 年 4 月第一版 1998 年 4 月第一次印刷

印数:1—400 定价:38.00 元

谨以此书庆祝北京大学建校 100 周年
暨北京大学地球物理学系成立 40 周年

6540 6/07

弘扬学术传统，
培育时代英才。

贺地球物理系四十周年系庆

陈佳洱 92年12月

北京大学地球物理系

四十周年系庆

探索地球、空间和宇宙的奥秘

攀登科学高峰、培育优秀人才

吕保维谨贺

一九九七年十一月二十日

序

为庆祝北京大学 100 周年校庆和北京大学地球物理学系及空间物理学专业成立 40 周年,北京大学地球物理学系空间物理学专业编辑了这本《空间物理前沿进展》。

读了该文集的校样稿后,我认为这是继 10 年前叶永恒先生和吕保维先生主编的《空间物理学进展》之后又一本学术水平较高的文集。它涉及的前沿领域较宽,包括太阳大气物理学、日球层物理学、磁层物理学、电离层物理学、高中层大气物理学、空间探测和空间环境学及其应用等。文集的撰稿人都是空间物理学各领域的专家,文集中的多数论文既有对本领域的研究进展和发展动态的分析和评述,又总结了自己近年来研究工作的进展和成果。近 10 年来我国空间物理学研究有了长足的进展,一些科研成果已经或将会在国际空间物理学界产生影响,本文集从某些方面反映了这些情况。本文集对我国空间物理学界的研究生和科技工作者很有参考价值,对发展我国空间物理研究和人才的培养将会起积极的作用。

北京大学空间物理学专业是我国空间物理学领域人才培养和科学研究的重要单位之一。北京大学空间物理学专业成立 40 年来,在人才培养和科学研究方面取得了显著成绩。当前我国空间物理学界的学术带头人和科研骨干,其中不少是由北京大学空间物理学专业培养出来的。同时,北京大学空间物理学专业在空间物理研究方面也取得了一些在国际上有影响的优秀成果,对推动我国空间物理学的发展做出了重要贡献。

空间物理学是 1957 年人造卫星发射成功后迅速发展起来的一门新兴边缘学科,其主要分支学科包括太阳大气物理、日球层物理、磁层物理、电离层物理、高中层大气物理、空间环境和空间探测等。空间物理学与固体地球物理学、大气物理学、太阳物理学和天体物理学密切交叉,形成人类认识自然、开发和利用自然及维护自身生存环境的前沿科学。

空间物理学是一门应用性很强的基础学科。从它的基础性来说,空间物理学在空间科学中占有十分重要的地位,可以说是空间科学发展的先驱。日地空间包括太阳大气、行星际空间、地球磁层、电离层和高中层大气,其中地球磁层、电离层和高中层大气被称为地球空间(Geospace)。日地空间是一个理想的天然实验室,是浩瀚宇宙的一个缩影。在日地空间中发生的一些重要物理过程,在宇宙的其他天体空间也会存在。利用卫星和飞船进行空间物理探测,从地面实验室拓展到空间天然实验室,极大地开扩了人类认识宇宙的视野,对了解宇宙、地球空间环境和行星空间环境的起源和演化过程有重大的科学意义。从其应用来说,人类已进入空间时代,地球空间已成为人类向自然索取、开发和利用资源的重要场所。日地空间环境的剧烈变化,对航天活动和地面技术系统有严重的危害,如导致航天器受损和失常、卫星和地面通讯中断、导航和定位失准,以及高压电网、长距离输油和输气管道损害等。另外,日地空间环境中的爆发性事件,对人类的生存环境也有影响。空间物理的探测和研究可为保障航天活动的安全、开发利用空间及维护人类的生存环境提供科学依据。

40 年来空间物理的探测和研究有了很大的进展。特别是本世纪 90 年代国际上实施“国际日地物理计划”以来,对日地空间各层次进行了多卫星协同观测,使日地空间物理的探测和研

究登上了一个新的台阶。瞻望 21 世纪,国际上的空间物理探测将会有新的创举。当前世界上各空间国家都制订出了 2020 年以前空间物理研究的战略计划。空间物理的发展趋势可归结为以下几点:进一步加强日地系统整体联系过程的研究;将地球空间环境和行星空间环境结合起来进行比较研究,了解地球空间环境未来的演化过程;重视太阳活动对地球大气变化和人类生存环境的影响;开展人类在空间可居住性的研究;空间探测计划与有关的科学课题更密切地配合起来。在空间探测方面的发展趋势是:发展近太阳区的探测;在地球空间发展小卫星星座探测技术;发展轻小型、高精度的场和粒子探测仪器;发展集成的紫外、X 射线和中性原子的成像仪器;发射抗辐射加固包。

我国是一个空间大国,在卫星发射技术方面已进入国际先进行列。但我国在空间物理的探测和研究方面,与发达国家相比还有较大的差距。江泽民总书记在党的十五大报告中提出:“要从国家长远发展需要出发,制订中长期科学发展规划。”最近我国政府又提出要将科教兴国战略列为工作重点,并对“迎接知识经济时代、建设国家创新体系”的战略思想非常重视。我国空间物理学界应积极提出发展我国空间物理学的中长期计划,在 21 世纪的前十年内做出自己的贡献。趁写这篇序言的机会,我想提出以下的意见和建议:

1. 1999~2010 年我国空间物理研究的战略主题是“日地空间环境的连锁变化过程和预报”。主要研究内容如下:

- 太阳事件及其在行星际空间的传播和演化过程;
- 磁层环境全球变化对行星际扰动的响应过程;
- 电离层和高中层大气对太阳活动、磁层扰动和低层大气波动响应的动力学、电动力学、光化学过程;
- 地球空间环境与行星空间环境的比较研究;
- 日地空间环境的动态模式和预报方法。

2. 配合上述研究目标,逐步完善和建立我国日地空间物理的立体观测系统,包括地面观测、气球、火箭探测和卫星探测:

(1) 实施“子午链工程”,建立综合的 120°E 地面观测链。

(2) 根据课题研究的需要,适当开展平流层、中间层和低热层区的气球和火箭探测,配合地面观测和卫星探测,重点研究电离层和高中层大气相互作用的光化学、电动力学和动力学过程。

(3) 制订卫星探测计划,积极开展卫星探测:

- 有计划地开展卫星搭载探测,在有关型号的卫星上搭载部分探测仪器,不断取得不同轨道卫星上的探测数据;
- 充分利用“实践 5 号”卫星上的探测数据;
- 积极推动“地球空间双星探测计划”,力争在 2001~2002 年太阳活动峰年期间,发射双星,并与 Cluster I 及国际空间局协调组(IACG)组织的有关卫星相配合,使我国的空间探测进入国际行列,推动我国空间物理学的迅速发展;
- 发射空间太阳望远镜卫星,观测高分辨率的太阳磁场和流场;
- 建议制订我国的磁层小卫星星座探测计划,在 24 周太阳峰年期间(2012 年左右)发射磁层星座卫星,并与国际上有关卫星相配合;
- 发展新的空间探测仪器。

3. 我国空间物理学界要积极争取将上述研究目标列入国家重点基础研究项目。

4. 积极建立我国空间物理领域的创新体系,加强国际合作,增强在国际上的竞争能力,采取有效措施,积极培养年轻的空间科学技术人才。

最后,在迎接北京大学百年华诞之际,我衷心祝愿北京大学早日建成世界第一流的社会主义大学。我也衷心祝愿我国空间物理学研究早日迈入世界前沿。

刘振兴^①

1998年4月5日

^① 该序的作者系中国科学院院士,中国科学院空间科学与应用研究中心研究员。

前 言

为庆祝北京大学 100 周年校庆和地球物理学系及空间物理学专业成立 40 周年,北京大学地球物理学系空间物理教研室决定编辑出版文集《空间物理前沿进展》。文集中的论文拟由北大校友和本教研室教师撰写,每篇文章就空间物理学的一个专题评述近年来的研究进展和动向,并介绍自己最新的研究成果。十年前,叶永烜先生和吕保维先生主编了一本《空间物理学进展》(四川科学技术出版社出版)。这本文集学术水平高,系统性强,是科研和教学的一本很好的参考书。我们想以它为模式,发扬它的特点和优点,使我们编的这本文集不仅起到汇集北大校友和本专业教师的科研成果的作用,也对我国空间物理学及相关学科领域内的博士、硕士研究生和科研工作者的学习和科研有参考价值,对我国空间物理学的繁荣和发展有所裨益。这是我们编辑这本文集的目的。

近几年来我国空间物理学的研究成果很多,进展较快,正一步步迈向世界舞台。研究目标主要集中在揭示日地系统的扰动过程及其对地球空间环境的影响方面。本文集汇集了与此有关的 16 篇论文,按空间探测、空间环境学、太阳大气物理学、日球层物理学、磁层物理学、电离层物理学和高中层大气物理学的次序编排。由于时间仓促,并为保持作者原意,我们未将几份英文原稿译成中文,请读者原谅。本文集的主要作者都是其所在研究领域的著名专家。多年来他们在非常困难的条件下,坚持基础研究,辛勤工作,成果显著。这次又应我们邀请,费心撰文,令我们十分感动。本文集中有不少论文对其涉及的前沿进展作了深入分析,对作者及其研究集体近年来的主要成果作了系统介绍。读者不难看出,这些成果有较高的学术价值,体现了我国空间物理学研究在这些方面的前沿水平。如果本文集能使读者有所收益,能对我国空间物理学的繁荣有所贡献,那是作者们多年的劳动和心血的结晶所带来的结果。

本文集取名为“空间物理前沿进展”,意在表明作为一门基础学科,中国的空间物理学应在国际前沿取得应有的地位。本文集的 16 篇论文涉及了空间物理学较多的分支学科,但远远没有、也不可能覆盖全部前沿领域。由于时间仓促,我们只来得及同一部分北大校友取得联系。本文集的主要作者中年轻科学家人数较少,这是本文集的一个不足;另外,国内许多知名专家的重要成果未能包括在本文集之中。我们特在此加以说明并表示歉意。

在这里,我要代表文集的国内作者们向国家自然科学基金委员会以及中国科学院、前国家科委和前国防科工委致以谢意。这些作者们的科研成果都是在他们的资助和领导下取得的。特别是国家自然科学基金委员会,是我国基础科学舞台的总导演。在基础研究十分困难的情况下,委领导和地球科学学部目光长远,对空间物理学的发展,给予了有力的支持。

本文集得以出版,是和责任编辑郭彩丽女士和她所在的气象出版社第四编辑室全体同志的努力分不开的。由于郭彩丽女士的积极倡议,我们才下决心编辑这本文集。在文集的出版过程中,她做了大量细致的工作。在当前市场经济的大形势下,气象出版社领导重视基础科学学术著作的出版,给我们以优惠和支持,令我们非常感动。谨表示诚挚的谢意。

本文集得以出版,也是与北京大学地球物理学系领导的支持和来自多方面的资助分不开

的。在这里我向所有给予我们经济赞助的单位、课题组和个人表示衷心的感谢,他们是:北京大学地球物理学系、都亨、涂传诒、宋礼庭、魏奉思、徐荣栏、肖佐、邹积清、张兆东、艾国祥、张洪起、赵学溥、孙炜、林郁、徐继生、马淑英、沈长寿、资民筠、朱文明、张永维、林国成、丁天洋,以及北京大学地球物理学系空间物理学专业 1977 级学生等。

北京大学校长陈佳洱院士、我国空间物理学前辈科学家吕保维院士为本文集题词;刘振兴院士为本文集写了一篇热情的序言,对空间物理学的研究目标和发展趋势做了分析和展望,实际上是一份关于下一世纪我国空间物理学战略设想的建议书。在此也一并表示感谢。

祝愿北京大学再创新世纪的辉煌。祝愿中国的空间物理学蓬勃发展。

濮祖荫

1998 年 4 月

目 录

中国空间环境研究进展	都 亨 叶宗海(1)
空间带电粒子和航天器的相互作用	林国成等(16)
Magnetic Field and Electric Current in Flare Regions	Hongqi Zhang (张洪起)(40)
Modeling Boot-Shaped Coronal Holes Using SOHO-MDI Magnetic Measurements	 X. P. Zhao (赵学溥)等(45)
太阳风的起源与加速	涂传诒(52)
动力论 Alfvén 波与太阳风	宋礼庭(66)
Observations of Double Discontinuities in Space Plasma	Y. C. Whang (黄云潮)(79)
Theoretical and Simulation Studies for the Structure of Reconnection Layer	 Yu Lin (林 郁)(91)
Several Aspects on the Magnetospheric Substorm Study	W. Sun (孙 炜)(107)
磁层亚暴的中磁尾-近磁尾-极区电离层全球模型	濮祖荫等(148)
磁尾中性片	李 磊 徐荣栏(176)
电离层和磁层、热层及中层大气的耦合研究	萧 佐等(184)
电离层无线电层析	徐继生 马淑英(193)
大气行星波对低纬电离层的扰动	陈培仁(206)
中高层大气光化学过程	王英鉴(237)
A Re-evaluation of Antarctic Chlorine Activation by PSCs Using A Box Model	 Shu-ren Wang (王树仁)等(252)

中国空间环境研究进展

都 亨^① 叶宗海

中国科学院空间科学与应用研究中心, 北京 100080

1. 前 言

从 1957 年 10 月 4 日人类进入宇宙空间的第一天开始, 空间环境状态及其变化规律就成为航天活动所关心的问题。40 年来, 人们已经花费了大量的财力, 发射了数百个航天器在广阔的太空各个区域进行探测、研究, 建立了庞大的地面观测网, 它们和空间的监测卫星一起昼夜不停地监视着空间环境的变化, 数以千计的科学家在为保证航天器运行得安全可靠而努力工作。但是, 空间环境造成的航天器故障事件仍不断发生。

在 60 年代, 人们最为关心的有三个环境因素: 一是来自宇宙深处的流星体, 以其 $10 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上的高速撞击航天器, 会立即使航天器遭到破坏。二是 1958 年新发现的地球辐射带(范阿仑辐射带), 其中大量的高能带电粒子会造成电子器件性能衰退, 对航天飞行员造成严重的威胁。三是高层大气, 它对航天器的阻力会使航天器逐渐陨落。70 年代以后, 发现流星体的破坏作用虽然很大, 但它的通量比较小, 对于体积不是很大、在空间停留的时间不是很长的航天器来说, 它的威胁不是很严重, 加上探测方面的困难, 对它进行的研究逐渐减少。但此时在地球同步轨道上工作的通讯卫星接连不断地发生故障, 使航天工程师们感到极为困惑, 百思不得其解。最后是在熟悉空间环境状态的科学家的协助下, 从分析这些故障发生的时间、地点、当时的各种环境条件入手, 找到了致祸的元凶是空间的高温等离子体, 他们可以使航天器充电到数千伏甚至 $1 \sim 2$ 万伏的高电压, 当电压超过航天器部件、元器件能承受的电压时, 放电电流将使航天器部件或元器件损坏, 或者在放电时发出的电磁脉冲干扰航天器的正常工作, 从而造成航天器故障。于是等离子体环境和航天器充电现象成为空间环境研究的主要问题。进入 80 年代, 微电子器件由于其体积小、功耗低的特点, 特别适用于航天工程, 得到了广泛的应用。空间环境研究专家根据带电粒子和物质相互作用的认识, 预言了“单粒子事件”将成为航天飞行的重要隐患, 银河宇宙线、太阳宇宙线、地球辐射带中的高能带电粒子, 特别是其中的重离子成为研究的重点。与此同时, 人类的航天活动本身也留下了祸根, 抛弃在空间的航天器、它们的部件以及碎裂以后的残片日益增多, 到 80 年代末它们的威胁已超过流星体, 并迅速增长, 这种威胁对大型的、在空间长时间运行的航天器, 如空间站更为严重。总之, 航天飞行的 40 年可以说是人类和空间环境进行斗争的 40 年, 是空间环境研究不断发展的 40 年。

我国早在 20 世纪 60 年代初卫星事业刚刚启动时, 在赵九章先生的领导下就开始了空间环境的研究, 当时主要研究的问题是地球辐射带中高能带电粒子对卫星的影响。依据国外文献中发表的少量探测结果, 利用手摇计算机和计算尺等简单的计算工具, 计算了我国第一颗卫星

^① 该作者系北京大学 1960 届毕业生。

“东方红一号”在轨道上可能遇到的高能质子和电子通量。在第二颗卫星“实践一号”上进行了高能带电粒子的测量。与此同时收集了其它空间环境参数的数据,进行了初步的研究,于1971年编写了《人造地球卫星环境手册》,为航天工程设计人员提供了一本便于查阅的工具书。1972年注意到国外地球同步轨道卫星发生的充电问题,向航天部门提出了开展相应研究工作的建议,并开始了等离子体探测器的研制和在地面实验室中进行充电过程的模拟试验。1986年我国开始执行“863”高技术研究计划,空间环境研究作为一个专题开始了全面的研究,除了在一些应用卫星上搭载进行测量外,相继发射了“大气一号”气球卫星进行高层大气密度测量,发射“实践四号”卫星测量带电粒子和它们的效应。在研究力量的组织上,90年代初在中国科学院空间科学与应用研究中心建立了专业的空间环境研究室和空间环境探测器研究室,建立了数据中心,在建立自己的数据源的同时,从国外引进大量数据和模式,开展预报方法的研究,筹备建立空间环境预报中心。

2. 卫 星 探 测

卫星探测是空间物理研究数据的主要来源,在60年代初即已安排了磁强计、高能带电粒子探测器、等离子体探测器的研制工作,作为第一批卫星探测的有效载荷。随着我国航天事业的发展,卫星探测工作取得了很大的进展。根据我国卫星工程的特点,卫星探测是以两种方式进行的:一种是在应用卫星上搭载探测仪器,另一种是发射专门的探测卫星。

2.1 在应用卫星上的搭载探测

在应用卫星上进行搭载探测不仅是空间环境研究获取数据的重要途径,也是为保证卫星正常运行,为分析故障原因提供重要依据的手段,因此,在应用卫星上进行空间环境的搭载探测不仅具有重要的科学意义,而且还有好的经济效益和社会效益。

2.1.1 返回式卫星的搭载探测(祁章年、陈渭,1993)

70年代后期高能物理所和航天工业总公司501部合作,曾在我国返回式应用卫星上利用乳胶作过搭载测量,以后在1987、1988、1990、1996年利用固体径迹探测器在返回式卫星上进行过舱内质子、重离子的通量、能量的测量。1989年航天医学工程研究所利用LiF热释光剂量仪、荧光玻璃剂量计和CR-39塑料径迹探测器对返回式卫星舱内的辐射剂量进行了测量,并得到了宇宙辐射中重离子成分的信息。

2.1.2 在通信卫星上的搭载测量(林华安、苏貽泰,1997;程栋元、吴寄萍,1986)

在1984年4月和1986年2月先后发射的地球同步通信卫星上进行了太阳X射线、高能质子和电子、卫星表面电位等的测量,首次获得了太阳X射线爆发的资料和地球同步高度上的高能电子资料。

2.1.2.1 太阳X射线探测器

该探测器是一圆柱型的电离室,其直径为45 mm,有效高度为 $3.68 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$,面积为 3.14 cm^2 ,探测X射线的波段为 $(1 \sim 8 \text{ \AA})$,相应能量范围是 $1.54 \sim 12.34 \text{ keV}$,属于软X射线探测器。搭载在1984年发射的试验通信卫星上的探测器测到了4月21日的两次太阳耀斑,取得了我国首次观测的太阳耀斑软X射线资料。在1986年2月1日发射的第二颗试验通信卫星上的X射线探测器观测到了2月4日在太阳上发生的特大耀斑,其峰值流量达 $3.5 \times 10^{-8} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$,相当于X3.5级的耀斑。上述X射线探测器均记录了X射线辐射的时间演变过程。

2.1.2.2 高能质子探测器

该探测器是由直径为 16 mm、灵敏层厚度为 300 μm 的两块半导体探测器组成的望远镜, 测量能量大于 10 MeV 和大于 30 MeV 的质子强度。探测器的方案是 70 年代初设计的, 由于当时国内没有较厚的半导体探测器, 加之设计上没有考虑到同步高度上高电子通量形成的堆积效应, 致使质子探测器进入同步高度后, 测到了由于电子堆积效应产生的大量干扰信号, 未能达到探测太阳质子事件的目的。

2.1.2.3 高能电子探测器

该探测器是由直径为 10 mm、灵敏度为 300 μm 的两块半导体探测器和两块厚度为 600 μm 和 350 μm 的硅吸收片组成的望远镜。测量能量大于 0.5 MeV 和大于 1.0 MeV 的电子通量。在卫星转移轨道上测量了内辐射带的电子通量变化, 进入同步轨道后测量了同步高度上的电子通量及其日变化, 所得结果与模型值基本相符。

2.1.2.4 静电电位差计

在上述两个同步轨道通信卫星上均有静电电位差计测量在磁层亚暴环境下, 由于热等离子体使卫星表面带电的电位。它是微分式静电电位计, 两个传感器分别安装在卫星两侧, 以分别处于日照面和背阳面, 量程为 ± 6.4 keV。在卫星跟踪测控时间内, 没有遇到磁层亚暴, 卫星表面电位变化不大。

2.1.3 在“风云一号”气象卫星上的搭载(叶宗海等, 1992; 1993a; 1993b; 陈贵福, 1993; Ye, 1994)

“风云一号”是一颗太阳同步轨道卫星, 星上有一空间粒子成分探测器, 它是由三块半导体传感器组成的望远镜系统, 测量空间的质子、 α 粒子、碳、氮、氧和铁的离子丰度, 其能量范围是 $4 \sim 23 \text{ MeV} \cdot \text{n}^{-1}$ 。

从 1990 年 9 月 3 日“风云一号”(B)星发射入轨获得了大约半年的观测资料, 其主要结果如下:

(1) 在上述运行时间内一共观测到 5 次太阳质子事件及相应的重离子丰度。这是我国首次在卫星上观测到太阳质子事件。

(2) 获得了南大西洋上空内辐射带的重要信息:

① 得到了卫星穿越内辐射带时质子平均强度的时间和空间变化。

② 得到了质子垂直强度在磁坐标 (B, L) 内的分布。

③ 观测到在大的太阳活动时, 特别是太阳质子事件期间内辐射带质子强度的明显增加, 且随 L 值的增大, 其扰动幅度增大。

④ 观测资料证实, 内辐射带中的确存在除质子、 α 粒子之外的更重的粒子, 观测到了碳、氮、氧和铁离子的存在, 只是通量较小。

(3) “风云一号”卫星上的探测器观测到了银河宇宙线的异常成分, 除观测到 C、N、O 的异常成分之外, 还观测到异常的 Fe 离子存在。

(4) “风云一号”(B)星上粒子成分探测器的结果为卫星计算机逻辑电路翻转而造成卫星失效作了重要的佐证。分析表明, 星上计算机的逻辑翻转很重要的原因之一是空间重离子引起的单粒子事件, 而且后来被地面试验所复现证实。

2.1.4 “风云二号”气象卫星上的搭载

“风云二号”是一颗地球同步气象卫星, 在该星上搭载有太阳 X 射线探测器和高能粒子探测器, 其主要目的是监视太阳活动和卫星运行高度的高能辐射环境, 为警报太阳质子事件的研究提供数据和验证手段。

高能粒子探测器由三元半导体探测器组成一望远镜系统,它测量质子能量大于 0.8 MeV 的通量,以及质子在 4~300 MeV 内的能谱和时间变化,太阳耀斑 α 粒子及同位素 ^3He 的强度 ($4\sim 30 \text{ MeV} \cdot \text{n}^{-1}$)。太阳 X 射线探测器是用高压气体平行电场雪崩室作为传感器,以 12 道脉冲幅度分析器完成其能谱测量,所测能量范围从软 X 射线 ($4\sim 15 \text{ keV}$) 至硬 X 射线 ($15\sim 100 \text{ MeV}$) 的范围,研究其能谱、流量及时间演变。“风云二号”已于 1997 年 6 月 17 日发射成功,探测仪器均工作正常,已取得大量观测数据。

2.1.5 计划中的应用卫星上的搭载

2.1.5.1 “风云一号”02 批卫星上的搭载

“风云一号”02 批卫星与“风云一号”(B) 卫星轨道基本相同,在该星上搭载的高能粒子探测器与原“风云一号”01 批上的仪器相比,其功能大大增强,扩大了探测能量的范围,增加了质子能谱的测量,质子能量范围为 4~300 MeV,5 道输出;重离子能量范围为 4~30 $\text{MeV} \cdot \text{n}^{-1}$;增加了一道电子测量,探测内带 2 MeV 以上的电子通量;还增加了探测重离子的种类,新增加的有 Be、Mg、Ar 等离子。

2.1.5.2 资源卫星上的搭载

资源卫星的轨道近似于气象卫星“风云一号”的轨道,在该星上搭载有星内高能粒子探测器(由北京大学研制)和等离子体探测器。等离子体探测器是用来测量沉降粒子特性的,传感器是四分之一球形静电分析器,测量的电子和质子的能量范围是 100 eV~40 keV,分 16 道输出,并能测量 7 个方向,以获得等离子体的能谱和方向分布。星内高能粒子探测器,分别由两个二元半导体探测器构成的望远镜,测量 5~30 MeV 和 30~60 MeV 的星内质子通量;0.5~2 MeV 和 2~4 MeV 的星内电子通量。

2.2 空间探测卫星

2.2.1 “实践一号”(周国成、刘振兴,1990)

1971 年 3 月 3 日由“长征一号”运载火箭发射,近地点高度 266 km,远地点高度 1 826 km,倾角 69.9°。主要探测宇宙线、内辐射带粒子和太阳 X 射线。探测宇宙线的仪器是盖克计数器,管内充有卤素气体,有效管长 40 mm,直径 3 mm,测量能量大于 16.4 MeV 的质子和能量大于 0.88 MeV 电子的总通量。探测太阳 X 射线的是铍窗积分电离室,测量的波长为 $1 \times 10^{-2} \sim 8 \times 10^{-2} \mu\text{m}$ 。

2.2.2 “实践二号”(郇鸿生等,1990;陈耀武等,1990)

1981 年 9 月 20 日发射的“实践二号”是一颗综合性的环境探测卫星,近地点高度 237 km,远地点高度 1 622 km,倾角 60°。测量了空间环境的主要参数和影响空间环境的太阳有关参数;探测仪器有:

半导体高能电子探测器 $>0.25, >0.5, >0.8 \text{ MeV}$

半导体高能质子探测器 $>10, >30 \text{ MeV}$

半导体半全向质子探测器 $>60 \text{ MeV}$

闪烁计数器 电子 $>0.25, >0.45, >0.65 \text{ MeV}$

质子 $>5 \text{ MeV}$

太阳紫外辐射探测器 26.20, 28.96, 30.90 μm

太阳 X 射线探测器 $0.5 \times 10^{-10} \sim 12 \times 10^{-10} \mu\text{m}$

长波红外辐射计 3~5, 8~12, 10~12, 14~16 μm

短波红外辐射计 2.2 和 2.7 μm

地气紫外背景辐射探测器 22~26 μm

热电离计 $1.33 \times 10^{-2} \sim 6.7 \times 10^{-7} \text{ Pa}$

2.2.3 “实践四号”(王世金、叶宗海等,1995a;1995b;王丽君,1995;师立勤等,1995)

“实践四号”是一颗专门测量近地空间带电粒子环境及其对航天器影响的卫星。由“长征三号”运载火箭送入近地点高度 210 km、远地点高度 36 125 km、倾角 28.6°的大椭圆轨道。“实践四号”在项目安排上有三个特点:(1) 探测的能量范围宽,几乎覆盖了对航天器有影响的全部能量范围;(2) 探测的成分全,包括电子、质子和重离子;(3) 同时测量环境参数和效应,能为环境研究提供完整的对比数据。大扁度的卫星轨道也最适合于带电粒子研究,卫星每天两次穿过辐射带,从辐射带下边缘(近地点附近)开始,通过内、外辐射带的核心地区,一直到达辐射带以外的区域,可以得到辐射带完整的分布数据。卫星在热等离子体充电问题最严重的地球同步轨道附近将停留比较长的时间,有较多的机会了解热等离子体状态和卫星充电状况。探测仪器有:

半导体高能电子谱仪 0.5~4.0 MeV

半导体高能质子重离子谱仪 质子 4~300 MeV

重离子 4~25 MeV/u

静电分析器 电子 100 eV~40 keV

质子 100 eV~40 keV

电位差计有三个传感器分别安装在顶部、底部和腰带上 顶部和底部 -6.4~+1 kV
腰带 -700~+300 V

单粒子事件监测器 由静态单粒子事件监测器和动态单粒子事件监测器组成,静态单粒子事件监测器的传感器容量为 1 MB。

卫星于 1994 年 2 月 8 日进入轨道以后,各项仪器正常工作了 6 个月,主要结果如下:

(1) 单粒子事件翻转率及其空间分布。图 1 是单粒子事件总发生率随时间的变化,横坐标是自发射日起计算的时间,以天为单位,纵坐标是累计的单粒子事件数,平均大约每天发生 3.4 次。图 2 是单粒子事件发生率随距地球距离的变化,横坐标为磁壳参数 L ,定义为通过单粒子事件发生点的磁力线与赤道交点离地心的距离,以地球半径为单位,纵坐标为磁壳参数 L 每 0.5 地球半径间隔内发生的单粒子事件数。可以看出单粒子事件主要发生在磁壳参数 $L < 2$ 和 $L > 5$ 的区域,分别是地球辐射带和太阳宇宙线引起的。

(2) 单粒子锁定事件的分析和恢复。动态单粒子事件监测器中采用的 CMOS 器件,平均每月发生一次锁定事件,致使二次电源输出电压由 +5 V 降为 +2 V,由它供电的静电分析器和电位差计工作失常。通过地面遥控指令短时切断电源,重新供电后恢复正常。

(3) 辐射带强度的空间分布。图 3 是辐射带高能电子通量随距地球距离的分布,横坐标为高度,以 km 为单位,纵坐标为对应的高能电子通量。图 4 是辐射带高能质子通量随距地球距离的分布。其分布规律与目前国际通用模式 AE8 和 AP8 是一致的,但实测的强度比模式给出的值要低。

(4) 测量到 27 次卫星被充电到 -500 V 以上的负高压的事例。图 5 是 2 月 14 日卫星充电到 -2 000 V 的过程。横坐标是时间,纵坐标是电位,分别给出卫星顶部和底部两个传感器测到的电位。

2.4 “大气一号”

“大气一号”由两颗气球型卫星组成、专门用来测量高层大气密度的环境探测卫星。于

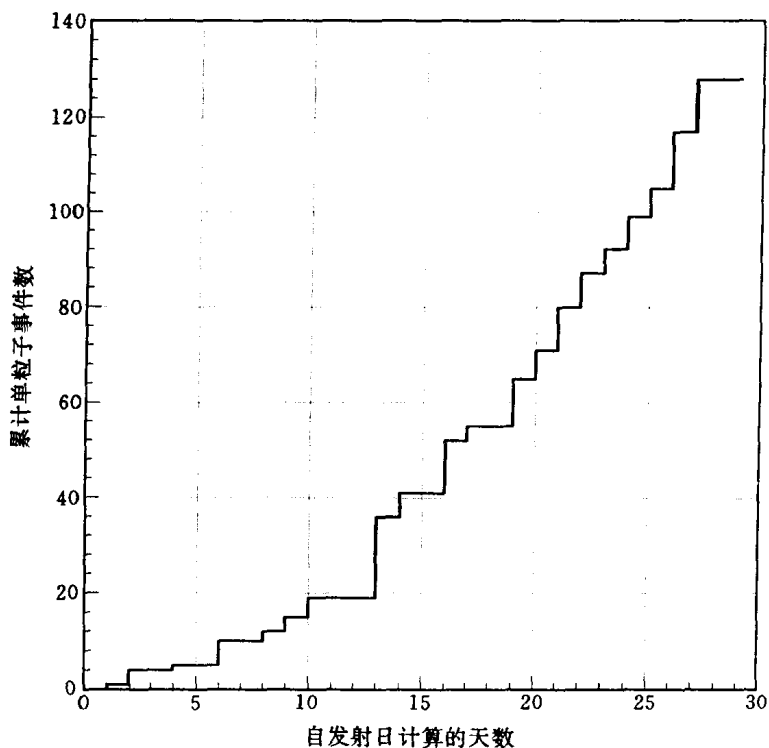
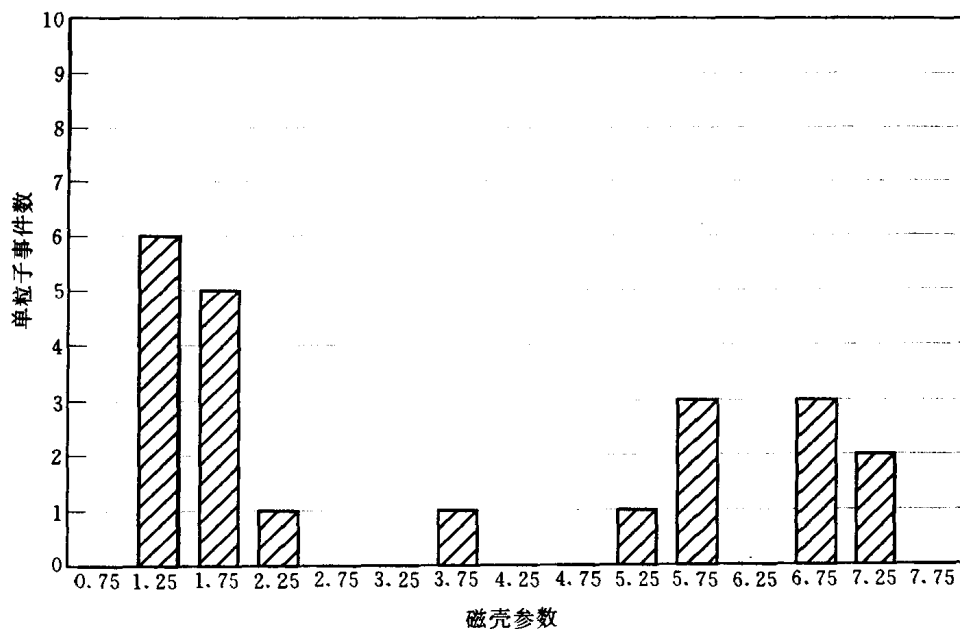


图 1 单粒子事件随时间的变化

图 2 单粒子事件数随磁壳参数 L 的变化

1990年9月3日由“长征四号”运载火箭送入高度900 km,倾角 99° 的太阳同步轨道。卫星由 $50\text{ }\mu\text{m}$ 厚的镀铝聚脂薄膜黏接而成,内装升华物质和少量残余气体,发射前折叠后置于直径400 mm的容器内,火箭入轨后,捆绑容器的爆炸螺栓解锁,弹簧将容器以约 $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速度