



全国高技术重点图书·航天技术领域

中国空间 科学进展 (文集)

胡文瑞 等著

国防工业出版社

空间科学与应用丛书

中国空间科学进展

(文集)

胡文瑞 等著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

中国空间科学进展:文集/胡文瑞等著. —北京:国防工业出版社, 1995. 12

(空间科学与应用丛书)

ISBN 7-118-01445-1

I. 中… II. 胡… III. 空间科学-进展-中国-文集 IV.
V 1-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 03586 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 17 $\frac{1}{2}$ 460 千字

1995 年 12 月第 1 版 1995 年 12 月北京第 1 次印刷

印数: 1—1000 册 定价: 25.40 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

《全国高技术重点图书》出版指导委员会

主 任:朱丽兰

副主任:刘 杲 卢鸣谷

委 员:(以姓氏笔划为序)

王大中	王为珍	王守武	牛田佳	卢鸣谷
叶培大	刘 仁	刘 杲	朱丽兰	孙宝寅
师昌绪	任新民	杨牧之	杨嘉墀	陈芳允
陈能宽	张兆祺	张钰珍	张效祥	罗见龙
周炳琨	欧阳莲	赵忠贤	顾孝诚	谈德颜
龚 刚	梁祥丰			

总干事:罗见龙 梁祥丰

《全国高技术重点图书·航天技术领域》 编审委员会

主 任:任新民

委 员:(以姓氏笔划为序)

王永志	刘琯德	吴大观	胡文瑞	顾诵芬
黄志澄	屠善澄			

“空间科学与应用丛书”序

空间科学主要利用空间飞行器来研究发生在宇宙空间的物理、天文、化学和生命等自然现象及其规律,它与天文学、地球科学等学科有着悠久的历史渊源。空间科学作为一门独立的综合性学科领域,是在空间技术有了巨大的进展和人类进入了空间时代的条件下,才形成和发展起来的。50年代以后,在大量地面台站、气球和火箭观测及长期理论研究的基础上,迫切要求各相关学科之间密切配合,要求全球性的协同观测和发展新的探测手段。1957年人造地球卫星成功发射以后,各种空间飞行器和空间探索应运而生,开创了空间科学蓬勃发展的时代。

1956年,在竺可桢先生、赵九章先生的领导下,组织代表团参加了在西班牙巴塞罗那召开的国际地球物理年成立大会。在这次会议上,美国和前苏联先后宣布了发射人造地球卫星的消息。此后,我国积极地组织了国际地球物理年活动,除有计划地组织地面观测外,中国科学院的地球物理所在所长赵九章先生的领导下,组织了一批骨干科技力量,建立了应用地球研究所、制订了581、691任务。这些措施很有远见,也很有成效,开创了我国空间科学的发展。

经过60年代的努力创业,我国发射了实践1号和实践2号以空间物理为探测对象的科学卫星。70年代和80年代以来,国家提倡以应用卫星任务为重点,从而带动了气象卫星的研制和对地观测卫星的发展。80年代后期,根据国家高技术计划成立了航天领域专家委员会,又推进了空间生命科学、微重力科学及其他空间科学的研究。尽管我国空间科学相对于空间技术和空间应用还比较薄弱,总体水平也还不够高,特别是研制和发射科学卫星的能力还

不高,但我国空间科学已有较好的发展势头,在各主要学科领域已部署了一批精干的研究力量,已经形成一批地面台站网和进行了一些空间实验。展望下个世纪,中国的空间科学必会做出重大贡献。

“空间科学和应用丛书”是八五期间国家高技术重点图书出版计划的一部分,涉及了空间科学的几个主要领域,这套丛书的出版有助于我国空间事业的发展。希望这套丛书在“九五”期间能继续扩展,以反映国际空间科学迅速发展的前沿,交流我国空间科学发展的进展,促进青年学者和同行的学术更新和提高,迎接新世纪空间科学的大发展。

中国空间科学学会理事长

中国科学院院士

吕保维

一九九五年六月三日

前 言

空间科学是空间活动中极具魅力的部分,它不仅为探索自然界的基本规律,极大地丰富人类的知识宝库而激励着一代代人的求知兴趣,并奠定了空间应用和空间技术的丰富基础。这本文集较全面地介绍了我国空间科学发展的历程、综述了空间科学各领域取得的主要成果,描绘出我国空间科学的概貌。

由于历史的原因,中国的空间活动是以技术发展起步的,自力更生地形成了运载火箭系列,应用卫星系列及相应的空间技术。在此基础上,近十年来又着重发展了卫星的空间应用,特别是空间通信与空间对地观测。空间科学的发展在我国处于相对薄弱的地位,与空间技术和空间应用的发展很不协调。80年代以来,随着改革开放而增进的国际学术交流,推动了我国空间科学研究与国际学术界接轨。特别是863国家高技术发展计划更从深度和广度上开拓了我国空间科学的新局面,完成了持续发展的部署。

本文集的作者都是长期在空间科学各领域第一线从事研究的科学家,对国内外的学术进展有很好的了解。他们撰写的论文比较准确地总结了各有关领域的成果,兼顾了学术性及可读性。这本文集第一次全面地综述了我国空间科学的历程和现状,必将对我国空间科学的发展起到促进作用。

本文集是由各位作者精彩的论文汇集而成,国防工业出版社蒋怡先生为出版本书做了大量的编辑和加工工作,十分感谢各位作者及编辑的辛勤劳动。这本文集的编辑和出版是一次尝试,不足之处在所难免,敬请读者不咎赐教。

胡文瑞

中国科学院微重力科学与应用国家重点实验室

一九九五年元月一日

目 录

- 中国空间科学的进展..... 胡文瑞(1)
- 空间天文学 李惕碛 陆柱国(25)
- 中国太阳活动的空间研究 王家龙(50)
- 行星际物理..... 胡友秋(101)
- 磁层物理..... 徐荣栏(139)
- 近年来中国电离层物理研究进展..... 陈培仁(164)
- 中国的空间物理探测..... 都亨 杨俊文 叶宗海(193)
- 中层大气研究的若干进展..... 吕达仁 王英鉴(228)
- 中国空间遥感与应用进展..... 郭华东(259)
- 空间生命科学与技术..... 汤章城 李忠寿(296)
- 空间医学..... 沈美云 吴国兴(314)
- 空间蛋白质晶体生长..... 毕汝昌(368)
- 中国空间材料科学研究进展..... 陈万春(395)
- 空间生长砷化镓晶体的实验..... 钟兴儒(440)
- 微重力流体物理在中国的进展
..... 胡文瑞 唐泽眉(466)
- 微重力环境下液体管理
..... 黄怀德 褚桂敏 张秀清(505)

中国空间科学的进展

胡 文 瑞

(中国科学院 力学研究所)

一、前 言

火箭和卫星技术的重大突破,为发展空间科学奠定了基础。从50年代末期以来,空间科学的新发现层出不穷,探索宇宙和利用空间成为了当代高科技的热点。由近地空间环境、行星际空间探测而发展了日地科学和行星探测;由多波段的太阳和宇宙空间观测而发展了空间天文学;由载人航天带动的空间医学而扩展至空间生命科学;由航天遥感而发展了空间地球科学;以及利用微重力环境逐步发展了微重力科学和应用。空间科学已经涉及到天文学、地球科学和生命科学的诸多前沿,促进了物理学和化学的新进展。可以说,空间科学是当代科学的前沿,它利用空间环境的各种特定优越条件,诸如超越地球大气层的影响,避免地球重力场的影响,克服地面局部视场的限制等,进行地面难于实现的研究;空间科学的另一类是直接探测,诸如地球空间的环境和过程,行星际空间,以及行星和卫星的研究。空间实验和空间探测的成果,极大地促进了空间科学的发展。可以说,空间科学的丰硕成果是与空间探测和空间实验密切相关的;当然,空间科学的发展必须建立在大量地基础研究的基础上。

中国的空间活动始于60年代初期。在国际上人造地球卫星和火箭技术突破性热潮的带动下,中国政府确定也要搞人造地球卫

星的政策。为此发展了相应的航天技术,诸如长征火箭系列,地面发射场,测控通信设施,以及组建有关的研究单位。经过五年的努力,我国于1970年4月24日首次成功地发射了重量173kg的人造地球卫星。以后,从1971年开始发展了空间环境探测的实践号卫星系列;从1975年开始成功地运转了对地观测的可回收型卫星系列;从1984年开始研制成功了通信卫星系列;从1988年开始发射风云号气象卫星系列。为了发射各种型号的卫星,中国已研制成功长征火箭系列,不仅有多级的长征—1,2,3,4号火箭,而且研制成功了捆绑技术,已能将8t的载荷送入近地轨道,并提供了国际商业服务。我国的空间活动已从60、70年代的以空间技术为主,发展到80、90年代的以空间应用为主。经过三十多年的艰苦努力,中国的空间活动在国际上已有一席之地^{〔1〕}。

中国的空间科学从60年代开始发展,由于人造地球卫星的需求,在中国科学院成立了应用地球物理所,开展了空间物理研究。70年代,由于载人航天的需要而成立了空间医学工程研究所,从事空间医学的研究;同时,中国科学院积极筹备发展科学卫星系列,成立了空间科学与技术中心,并开展天文卫星的论证和研制。1978年以后,随着改革开放的进程,一大批中国学者出国到西方的研究单位从事空间科学的研究,提高了我国空间科学各个领域的研究水平。80年代初期,天文卫星计划中断以后,我国的空间科学经历了几年的徘徊和调整。80年代后期,随着国家航天高技术计划的执行,我国的空间科学又获新的生机,开辟了微重力科学和空间生命科学等新兴领域的研究,也促进了空间物理、空间天文、空间地球科学和空间医学的发展。目前,我国在空间科学的各个领域都形成了一支研究队伍、某些理论研究已达到国际先进水平;我国已建成了一定规模的地面观测台站网和地基空间研究设施,开展了一系列高水平的实验和观测研究;我国已具备研制空间探测仪器和实验设备的能力,进行了一批在轨空间实验。但是,我国空间科学的总体水平还不高,特别是进行空间实验和观测的能力有限,与国际先进水平还有相当的差距。在我国,如何使空间科学能

与空间技术和空间应用协调地发展,这将是一个十分重要的问题。

空间科学既包括在地球以外的空间中进行观测和实验,也包括以各种空间客体为对象的研究。所以,空间科学除去实验室的理论和实验之外,还需要地面台站、气球、火箭,以及空间实验和观测。当然,空间实验和观测在空间科学中具有关键的重要性。一般而言,空间科学可以分为空间天文学、日地科学、行星探测、地球系统科学、微重力科学、空间生命科学等学科。我国以空间物理和近地空间环境起步,以后逐渐发展为日地科学研究。在天文卫星计划的带动下,我国进行了以高能天体物理为主的空间天文研究。行星探测在我国还几乎是空白。随着气象卫星和对地观测卫星的运行,有关的应用计划也带动了空间地球科学的发展。近年来,随着国家高技术计划的执行,微重力科学和空间生命科学研究开始起步。目前,我国的研究工作已覆盖了空间科学的大部分学科领域,但是在每个学科中涉及的广度和深度是不同的。

本文的目的是全面地阐述我国空间科学的发展状况,并着重于几个重要的问题和计划的内容,而不是按照空间科学的各个学科进行逐一论述。本文与这本文集其他专题论文一起,可描绘出我国空间科学发展的全貌。

二、中国的科学卫星

中国的科学卫星始于 60 年代,命名为“实践(SJ)”系列。表 1 是中国科学卫星的简表。

中国的科学卫星依赖于我国航天工业的技术支撑,SJ-1 和 SJ-2 的学术研究和仪器设计皆由空间物理研究所负责。空间物理研究所是由中国科学院的地球物理所分出来的,文化大革命期间转到航天部成为 505 所,70 年代后期回到中国科学院。1979 年中国科学院成立了空间科学与技术中心,试图发展科学卫星事业。1979 年开始研制天文卫星,直到 1985 年由于国民经济的调整而

无限期地暂停。中国的科学卫星计划在中断了一段时期以后,在 863-2 计划的推动下复苏。1990 年成功地发射了两颗气球卫星,对外大气层密度进行了探测,取得了太阳峰年期间外大气层密度变化的宝贵资料。最近,又设计和发展了磁层研究的实践 4 号(SJ-4)科学卫星。科学卫星正逐渐受到重视,预计在今后几年将会有较好的安排^[2]。

表 1 中国的科学卫星

名称	发射时间	重量(kg)	用途	学术负责单位
SJ-1	1971 年 3 月 3 日	221	空间物理	原航天部 505 所
SJ-2	1981 年 9 月 20 日	257	空间物理	原航天部 505 所
天文卫星	1985 年暂停	500	空间天文	中国科学院空间科学与 技术中心
SJ-3	1985 年取消	450	地球环境	原航天部
DQ-1A	1990 年 9 月 3 日	2.6	外大气层密度	中国科学院空间 科学与应用中心
DQ-1B	1990 年 9 月 3 日	3.3	外大气层密度	
SJ-4	1994 年 2 月 8 日		磁层	中国科学院空间科学与 应用中心

(一)实践 1 号(SJ-1)和实践 2 号(SJ-2)科学卫星

SJ-1 是中国的第一颗科学实验卫星,从 60 年代开始研制,于 1971 年 3 月发射成功。SJ-1 号对于科学卫星技术和空间探测器的研制都带有实验的性质。卫星的有效载荷有太阳 X 射线探测器,单管粒子强度探测器和磁强计。SJ-1 卫星取得了太阳短波辐射的资料,用 G-M 管计数器记录到近地空间能量大于 0.88MeV 的电子和能量大于 16.9MeV 的质子的总计数率。磁场测量是 SJ-1 卫星的主要任务之一,采用的是通量闸式磁强计,获得了磁场的大小和分布。SJ-1 号科学卫星第一次实现了我国的空间探测。不足之

处是,由于能源限制有效载荷的工作周期不够长。

SJ-2 科学卫星的科学目的是进行日地物理探测和研究、星载仪器包括半导体质子方向探测器、半导体质子半全向探测器、半导体电子方向探测器、闪烁计数器、热电离气压计、四通道红外长波辐射计、地气紫外背景辐射探测器、二通道红外短波辐射计、太阳软 X 射线正比计数管分光仪、太阳中紫外辐射计、三分量磁饱和式磁强计等。SJ-2 卫星于 1981 年 9 月发射成功,仪器运转正常,取得了一批有益的空间探测数据。经过数据分析和处理,获得了一批科学成果。SJ-2 卫星的运行轨道不够理想,仪器的工作周期也不够长,这是不足之处。

SJ-1 和 SJ-2 卫星都是由中国空间技术研究院负责研制的,为我国科学卫星和有效载荷的研制积累了经验,奠定了我国科学卫星的基础。

(二)DQ-1 气球卫星

气球卫星的科学目的是研究外层大气密度的变化,尤其是在太阳峰年期间的太阳和地磁活动对外层大气密度的影响。外层大气密度是大气物理研究的一个重要参数,对近地环境的应用研究也具有同样重要的作用。从物理学的角度看,许多课题研究需要密度的数据,如太阳活动对大气层的影响,大气层与电离层的耦合,外层大气与中层大气的耦合等。从应用角度看,低轨的空间飞行器的运行轨道与大气密度有紧密的关系。例如,美国天空实验室因太阳活动引起大气层密度增大而提前坠落。

DQ-1 计划包括两个气球卫星 DQ-1A 和 DQ-1B。该项目由几个单位于 1988 年 3 月联合向 863-2 专家委员会申请立项,1990 年 7 月完成研制,1990 年 9 月 3 日与风云 1 号气象卫星同时用长征 3 号火箭发射,两颗卫星分别于 1992 年 3 月 14 日和 7 月 23 日坠落。卫星的入轨高度为 900km,轨道倾角 99°。该卫星计划主要由中国科学院和原航空航天部的几个单位联合执行,中国科学院的空间科学与应用中心负责总体,中国空间技术研究院负责技术和

环模试验,上海航天局负责星体发射,中国科学院人造卫星应用中心负责卫星轨道观测和分析。通过合作,发挥各自的优势,圆满地完成了任务。

采用诸如质谱仪和电离计这些直接测量的方法不容易获得400km以上外层大气的密度,用地面非相干散射雷达也达不到这个高度。利用气球卫星受大气阻力而下落的间接测量,可以很好地给出外层大气的密度。气球运动方程可写为

$$m \frac{ds}{dt} = \frac{1}{2} C_D \rho v^2 A$$

其中, m 、 A 、 v 和 C_D 为气球质量、截面积、运动速度和大气阻力系数;已知这些量及速度变化,就可以计算出大气密度 ρ 。采用两颗独立的卫星有助于相互检验。数据分析表明,两组数据的相关系数为0.9935,非常理想。

气球卫星计划是天文卫星中断十年后重新启动的科学卫星计划,为进一步发展中国的科学卫星积累了宝贵的经验。

(三)实践4号(SJ-4)科学卫星

SJ-4卫星的科学目的是研究太阳和磁层活动对于近地轨道至地球同步轨道之间区域中离子和能量粒子分布的影响。这个区域包括了电离层,外层大气,等离子体层,内、外辐射带,以及能量粒子捕获区。等离子体和能量粒子分布的测量可以说明许多电离层和磁层的过程,诸如质量和能量的传输、磁暴和亚暴机理、不同典型区域之间的耦合、磁层内氧离子的起源和分布等。另一方面,SJ-4卫星的轨道覆盖了卫星环境的重要区域,其探测数据对于卫星的设计和运行也有益处。

SJ-4卫星的有效载荷有五项内容,包括能量粒子监测器和能量粒子望远镜。能量粒子监测器将直接探测热离子,它有16个通道,分布在0.1~40keV的范围,能量精度为15~20%。高能量粒子望远镜由半导体监测器组成,采用两个传感器以覆盖整个投射角的分布范围,主要性能如表2所列。高能量粒子望远镜的能量范

围是 $0.5 \sim 25\text{MeV}$, 其探测结果可与地面宇宙线站的数据一起分析和研究。

表 2 高能粒子望远镜性能

粒 子	电 子	质 子	重 核
能级(MeV)	0.5~4.0	4.0~300	4.0~25
能量通道	5	8	1
半扩张角	20°	20°	20°

SJ-4 号卫星于 1994 年初发射, 运行于大椭圆轨道, 取得了成功。

(四) 前景

国家航天高技术发展计划为我国的科学卫星事业注入了活力。在今后若干年内, 科学卫星可望获得发展, 将根据科学的需要和存在的机会逐步地安排。从长远的观点看, 中国也将会发展大型的科学卫星。然后在近期和不远的将来, 科学卫星将以小卫星计划为主。

由于中国空间科学的发展缺乏相对固定的渠道, 科学卫星的计划只能根据具体的机会和条件来逐个讨论、申请和安排。目前尚难于进行统一的规划。希望能逐步地改善情况, 开展中国的科学卫星计划。

三、60 年代起步的空间物理研究

为落实中国科学院“人造卫星发展规划设想草案”, 1958 年成立了中国科学院 581 组, 由钱学森、赵九章等负责, 挂靠在中国科学院地球物理所。581 组的任务是组织和协调卫星和火箭探空任务, 设置有火箭和卫星总体、电子学、太阳辐射、遥测、结构设计、跟踪雷达、环境模拟和高空大气等八个专业研究组。这是我国人造地球卫星的开始, 也是我国空间科学发展的关键一步。以后, 随着人

造卫星事业的发展,这个初始的小组逐步发展为现在庞大的中国空间技术研究院。

1960年初,在581组的基础上成立了地球物理所二部,它包括飞行体总体测控、电离层物理及电波传播、高空大气物理、空间光学和空间磁场等六个研究室。1968年2月,地球物理所二部改建为空间物理及探测技术研究所。以后虽经多次体制的变动,形成了现在的空间科学与应用研究中心,成为我国空间物理研究的主要单位,还是中国空间科学学会的挂靠单位。60年代初期,由赵九章教授带动,在我国开创了空间物理研究,特别是磁暴理论及实验室模拟,培养了一批业务骨干,在我国空间物理研究中起到支撑作用。另一方面,中国学者在1957年积极地进行了国际地球物理年(IGY)的筹备工作,参加的学者包括竺可桢、赵九章、吕保维、陈宗器 etc 老科学家。国际地球物理年的筹备工作促进了地面观测的开展,为我国空间物理的起步打下了基础。以前的空间物理所和现在的空间科学与应用中心为主体,我国的空间物理有了极大的发展。目前,武汉大学有空间物理系,北京大学和中国科技大学有空间物理专业。不仅为我国培养了大批人才,而且本身亦形成很强的研究集体。我国学科研究的领域已从60年代初期的磁层物理、电离层物理扩展到日地空间各个区域的物理过程,几乎覆盖了日地科学的主要方面。在国家六五计划期间,以太阳物理工作者为主,执行了“日地关系研究计划”。在七五计划期间,中国科学院执行了“太阳22周峰年期间日地系统整体行为研究计划”,把太阳物理、空间物理、电离层物理、大气物理等各个学科的研究力量组织起来进行综合研究。在国家八五计划期间,国家基金委员会组织了“日地能量计划”,国家南极委员会组织了“极区日地整体行为研究计划”。这些大型计划都促进了我国的日地科学研究。

日地科学是研究太阳的能量、动量和质量如何经过行星际空间、地球磁层、电离层和中性大气而影响地球环境的科学,有时也称为日地物理、日地关系、日地研究等。日地科学涉及太阳物理,行星际物理,磁层物理,电离层物理,热层及大气层物理、化学和地球

科学的有关领域,它侧重于研究日地系统不同区域之间的相互关联和耦合,研究日地系统的整体行为。40年代以来,我国一些学者在宇宙线、太阳和大气物理等领域有很好的建树,60年代以后陆续开展了较系统的学科研究。改革开放以来,利用国际合作的有利时机,大批中年学者活跃在日地科学的前沿,做出了一批高水平的成果^[3,4,5]。

北京天文台、云南天文台、紫金山天文台、乌鲁木齐天文站和南京大学天文系长期从事太阳物理的观测和分析研究。60年代以来,建立了配套的常规观测设备,特别是80年代北京天文台的多通道磁场望远镜达到了国际先进水平。在理论研究方面发展了太阳磁流体力学和太阳耀斑研究,对磁场位形、运动及与等离子体的相互作用有许多深入的分析。十分可贵的是,利用中国的人造地球卫星搭载了一些太阳物理的空间探测项目,主要是太阳X射线的辐射测量。同时,中国学者利用国外的空间观测资料,在太阳耀斑分类及过程的研究中也取得非常好的学术成果。我国的太阳物理除了在空间观测和太阳内部动力学两方面相对较弱之外,在其他方面都有较好的工作,达到了较高的水平。

行星际研究的重点显然在于直接的空间探测,这正是我国空间物理的薄弱环节。80年代以来,我国不少学者利用国外资料进行了大量分析研究工作,取得一批开创性的学术成果。在太阳风加速机制方面提出了Alfven涨落的波动能量串级理论,成功地解释了太阳风能源这个关键问题。太阳耀斑产生的激波在行星际空间的传播过程,以及激波的磁流体力学演化过程,都有重大进展。结合我国宇宙线地面台站的资料,从理论上还研究了宇宙线在行星际空间的调制。难能可贵的是,北京天文台改进了米波射电天线阵,开展了行星际闪烁的研究,从而通过地面观测获取行星际扰动传播的特征,使我国首次具备了进行行星际观测的能力。

空间物理的研究在我国始于磁层物理的经典课题。60年代初期的选题集中于磁暴机理和近地空间环境。近十年来,磁层物理的研究十分活跃,几乎涉及各主要课题的机理分析。磁层顶的多重X