



2008-2009

空间科学 学科发展报告

Report on Advances in Space Science

中国科学技术协会 主编

中国空间科学学会 编著



 中国科学技术出版社



2008-2009

空间科学

学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN SPACE SCIENCE

中国科学技术协会 主编

中国空间科学学会 编著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

2008—2009 空间科学技术学科发展报告/中国科学技术协会主编;
中国空间科学学会编著. —北京:中国科学技术出版社,2009.3

(中国科协学科发展研究系列报告)

ISBN 978-7-5046-4928-7

I. 2… II. ①中…②中… III. 空间科学—研究报告—中国—2008—2009
IV. V1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 018564 号

自 2006 年 4 月起本社图书封面均贴有防伪标志,未贴防伪标志的为盗版图书。

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:010-62103210 传真:010-62183872

<http://www.kjpbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京凯鑫彩色印刷有限公司印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:11.5 字数:270 千字

2009 年 3 月第 1 版 2009 年 3 月第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:35.00 元

ISBN 978-7-5046-4928-7/V·43

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

2008—2009
空间科学学科发展报告
REPORT ON ADVANCES IN SPACE SCIENCE

首席科学家 欧阳自远

专 家 组

组 长 顾逸东

副组长 吴 季

成 员 李惕碫 刘振兴 陈善广 王 赤 刘秋生

肖 佐 马宇倩 王焕玉 刘建忠 刘志恒

孙辉先 李喜先

学 术 秘 书 邱 理 王占群

序

当今世界,科技发展突飞猛进,创新创造日新月异,科技竞争在综合国力竞争中的地位更加突出。党的十七大将提高自主创新能力、建设创新型国家摆在了非常突出的位置,强调这是国家发展战略的核心,是提高综合国力的关键。学科创立、成长和发展,是科学技术创新发展的科学基础,是科学知识体系化的象征,是创新型国家建设的重要方面,是国家科技竞争力的标志。近年来,随着对“科学技术是第一生产力”认识的不断深化,我国科学技术呈现日益发展繁荣局面,战略需求引领学科快速发展,基础学科呈现较快发展态势,科技创新提升国家创新能力,成果应用促进国民经济建设,交流合作增添学科发展活力。集成学术资源,及时总结、报告自然科学相关学科的最新研究进展,对科技工作者及时了解和准确把握相关学科的发展动态,深入开展学科研究,推进学科交叉、渗透与融合,推动多学科协调发展,适应学科交叉的世界趋势,提升原始创新能力,建设创新型国家具有非常重要的意义。

中国科协自2006年开始启动学科发展研究及发布活动,圆满完成了两个年度的学科发展研究系列报告编辑出版工作。2008年又组织中国化学会等28个全国学会分别对化学、空间科学、地质学、地理学、地球物理学、昆虫学、心理学、环境科学技术、资源科学、实验动物学、机械工程、农业工程、仪器科学与技术、电子信息、航空科学技术、兵器科学技术、冶金工程技术、化学工程、土木工程、纺织科学技术、食品科学技术、农业科学、林业科学、水产学、中医学、中西医结合医学、药学和生物医学工程共28个学科的发展状况进行了研究,完成了中国科协学科发展研究系列报告(2008—2009)和《学科发展报告综合卷(2008—2009)》。

这套由29卷、800余万字构成的学科发展研究系列报告(2008—2009),回顾总结了所涉及学科近两年来国内外科学前沿发展情况、技术进步及应用情况,科技队伍建设与人才培养情况,以及学科发展平台建设情况。这些学科近两年产生了一批重要的科学与技术成果:以“嫦娥一号”探月卫星成功发射并圆满完成预定探测任务、“神舟七号”载人飞船成功发射为代表的一系列重大科技成果,表明我国的自主创新能力又有较大提高,在科研实践中培养、锻炼了一批

高层次科技领军人才,专业技术人才队伍规模不断壮大且结构更为合理,科技支撑条件逐步得到改善,学科发展的平台建设取得了显著的进步。该系列报告由相关学科领域的首席科学家牵头,集中了本学科广大专家学者的智慧和学术上的真知灼见,突出了学科发展研究的学术性。这是参与这些研究的有关全国学会和科学家、科技专家研究智慧的结晶,也是这些专家学者学术风范和科学责任的体现。

纵观国际国内形势,我国仍处于重要战略发展机遇期。科学技术事业从来没有像今天这样肩负着如此重大的社会使命,科学家也从来没有像今天这样肩负着如此重大的社会责任。增强自主创新能力,积极为勇攀科技高峰作出新贡献;普及科学技术,积极为提高全民族素质作出新贡献;加强决策咨询,积极为推进决策科学化、民主化作出新贡献;发扬优良传统,积极为社会主义核心价值观体系建设作出新贡献,是党和国家对广大科技工作者的殷切希望。我由衷地希望中国科协及其所属全国学会坚持不懈地开展学科发展研究和发布活动,持之以恒地出版学科发展报告,不断提升中国科协和全国学会的学术建设能力,增强其在推动学科发展、促进自主创新中的作用。



2009年3月

前 言

2008年,中国空间科学学会承担了空间科学学科发展的研究工作。6月,中国空间科学学会向各专业委员会布置了研究任务,包括目的、进度等,并明确了各专题报告要完成的任务,要求有专人负责组织编写大纲,征集有关能进入专题报告的材料等。

2008年10月,各个专题报告已基本完成。在此基础上,形成了空间科学学科发展报告写作大纲,其中含综合报告和专题报告的设置等。

2008年11月,形成了《空间科学学科发展报告(2008—2009)》初稿,并印发给有关专家审阅。12月5日,召开了有关专业专家会议讨论初稿,除了会上修改外,各专业委员会又进行了书面修改,最终形成本报告。

综合报告分为5大部分:1. 引言,对本报告进行了最精要的概括。2. 国际空间科学态势,主要论及世界空间大国、强国制订的10—20年以上的宏大计划,以及基本的科学目标。3. 我国空间科学现状,主要包括“地球空间双星”计划和探月计划实施的成就,以及中俄联合探测火星的进展。4. 我国近年空间科学发展,主要论及正在实施的高能天体研究计划、“夸父”计划和探月二期工程,以及开展地基受控生命保障系统研究等。5. 论述了未来年代,主要指2015年后,我国空间科学的战略构想,包括空间天文学和空间物理学都要分为三阶段实现科学目标:月球探测进入第二、三大步,即“登”、“驻”,并进行行星科学研究;要在空间站上开展安全、效能、生命保障研究和地外生命探索;要长时间在空间站上进行微重力科学实验。

专题报告分为6个:空间天文学、空间物理学、月球与行星科学、空间生命科学、微重力科学发展报告,最后,列出了空间科学的工程和技术支持系统,包括:①“嫦娥一号”卫星有效载荷在轨运行情况;②中国载人航天工程中的空间科学与应用;③空间材料科学进展。

中国空间科学学会
2008年12月

目 录

序	韩启德
前言	中国空间科学学会

综合报告

空间科学学科发展现状与前景展望	(3)
一、引言	(3)
二、国际空间科学态势	(4)
三、我国空间科学现状	(11)
四、我国近年空间科学发展	(21)
五、我国未来空间科学发展战略构想	(28)
参考文献	(37)

专题报告

空间天文学发展	(41)
空间物理学发展	(72)
月球与行星科学发展	(83)
空间生命科学发展	(99)
微重力科学发展	(119)
空间科学的工程和技术支持系统发展	(129)

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

Advances in Space Science	(165)
---------------------------------	-------

Reports on Special Topics

Advances in Space Astronomy	(168)
Advances in Space Physics	(169)
Advances in Lunar and Planetary sciences	(170)
Advances in Space Life Sciences	(171)
Advances in Micro-Gravity Science	(172)
Advances in Engineering and Technical Support System of Space Science	(173)

综合报告

空间科学学科发展现状与前景展望^{*}

一、引言

世界上,一些空间强国、大国都在实施已制订的宏大计划,并正在制定未来的庞大计划。一般地,空间科学的发展都要制订国家统一的宏大计划,以协调各方面的力量,持续较长的时间,才能得到良好的效果。美国航空和航天局(NASA)制定的“超爱因斯坦”计划、欧洲空间局(ESA,以下简称“欧空局”)制定的“宇宙憧憬”计划都是历时长达10年乃至20年以上的宏大计划,其科学目标都是探索最基本的重大科学难题,而且还往往通过国际合作来实施。

目前,我国也正在实施已制订的计划:①硬X射线调制望远镜(HXMT)正在研制之中;②进行多年的地球空间“双星”探测计划,现已取得了重要的成果;③“嫦娥一号”卫星正在轨绕月飞行,星上8台探测仪器已不断地向地面传回数据;④正在实施的中俄联合火星探测计划,其中俄方研制的“福布斯(Phobos-Grunt)”探测器、中方研制的“萤火一号(YH-1)”探测器,预计在2009年采用一箭双星式发射;⑤在转向空间生命科学基础研究的同时,主要在“神舟”系列中为航天员的健康、安全、效能提供保障;⑥最近,中日微重力科学研讨会在中国召开,日本空间开发局(JAXA)、ESA等国外科学家与会,进行了学术交流,并积极讨论了将来可能合作研究项目和计划。

在近年内,我国空间科学要在各个领域分期地实现预定的计划:①重点发展高能天体物理,近期优选暗物质粒子研究,抓住时机实施中国主导的暗物质粒子卫星探测计划,并着手研制X射线时变和偏振天文卫星(XTP),参加与法、意合作的X射线天文观测计划(Simbol-X),以及与德合作的宇宙演化X射线光谱探测计划(XEUS);②正在制定由三星组成的“夸父”计划,以达到研究日地空间复杂关系的科学目标,进而参加国际合作的磁层—电离层—热层耦合(MIT)探测计划;③完成月球探测第二期工程,即“落”的任务;④开展地基受控生命保障系统(CELSS)、空间生物学、空间放射生物学和医学研究;⑤正在实施的返回式卫星计划中,将发射第一颗微重力科学和生命科学实验卫星。

在未来的年代里,主要在2015年后,随着我国实力不断地增强,相应的空间发展战略构想及其衍生的宏大研究计划有:①在空间天文学中,主要研究宇宙天体的高能过程和黑洞物理,以黑洞等极端天体作为恒星和星系演化的探针,理解宇宙极端物理过程和规律,这将分为三个阶段实施;②在空间物理学中,主要在2030年前,要探求太阳、地球和人类和谐共存,从而将日地系统作为一个整体,以深入了解日地空间天气链锁变化过程及其变

^{*} 本报告参考了马玉倩、王焕玉、卢方军、常进、肖佐、王赤、刘振兴、陈耀、曹晋滨、万卫星、易帆、杨惠根、刘志恒、刘建忠、刘四清、仓怀兴、江丕栋、赫荣乔、赵建福、段恩奎、蔡伟明、聂玉昕、缪秉魁、孙辉先、李莹辉等人的稿件,在此表示感谢!

化规律,认识太阳活动对地球空间和人类活动和生存的影响,进而开展日地空间环境预报,这将为三个阶段实施;③在月球和行星科学中,首先要完成探月第一大步“探”的三期工程,即将在 2017 年实现无人采样返回,在 2020 年后,进而转入第二、第三大步,即“登”、“驻”,继续进行月球科学研究、建立月球基地,进行月球开发,并开展火星探测和比较行星学研究;④在空间生命科学中,在 2025 年前,建议发射 3~5 颗生命科学实验卫星,还要建立可供空间生命科学与技术研究的短期有人值守、长期无人照料的空间实验室或空间站,开展安全和效能保障、生命和生态技术保障研究,并进行地外生命探索;⑤在微重力科学中,既要进行大量的地基实验,但更重要的是要长时间地在空间实验室或空间站上进行实验,并利用空间微重力环境研究获得新认识,促进地基新学科的发展,特别是要加强微重力环境中复杂流体体系和复杂流体界面现象的研究。

二、国际空间科学态势

近几年,国际空间科学有很大的发展,主要包括空间天文学、空间物理学、月球和行星科学、空间生命科学、微重力科学及其探测技术的发展。

(一)国际空间天文学态势

目前,在空间运行的天文观测卫星,有美国的 HUBBLE、RXTE、Chandra、HETE-2、SWIFT、INTEGRAL,欧洲的 XMM-Newton、INTEGRAL 和日本的 Suzaku。其中,RXTE 主要用以探测河内 X 射线双星系统的 X 射线光变,尤其是在中低能(2~15keV)的快速光变。Chandra 的主要目的是对天体进行成像能谱观测。XMM-Newton 的突出特点是灵敏面积大,灵敏度高,适宜于观测天体的 X 射线光谱。HETE-2 和 SWIFT 卫星主要是观测 γ 射线暴的高能辐射,特别是对 γ 射线暴的快速定位以触发对这类暴发现象的多波段观测。SWIFT 上的主探测器 BAT 还可以完成较高灵敏度的全天硬 X 射线巡天,研究活动星系核的硬 X 射线辐射性质。INTEGRAL 采用编码孔径探测器对天空进行硬 X 射线和软 γ 射线的成像观测。Suzaku 上面的主要仪器 XRS 采用量能器以获得前所未有的高能量分辨 X 射线观测。

从以上卫星的特点可以看出,目前的天文卫星在 10keV 以下的 X 射线能区已经具有较强的观测能力。对能量高于 10keV 的硬 X 射线能区,主要的成像技术还是编码孔径技术,灵敏度不高。这些卫星的预期寿命都在 2010 年左右结束。

在 2010—2020 年间,NASA 空间天文项目被纳入在“超爱因斯坦”计划中,而欧洲则形成了 2015—2025 年的“宇宙憧憬”(Cosmic Vision)计划,统一规划并遴选未来的空间科学项目。

1. NASA“超爱因斯坦”计划

在 NASA“超爱因斯坦”计划中,想通过一系列项目的实施研究三个基本科学问题:①是什么驱动了大爆炸(What Powered the Big Bang)? ②在黑洞的边沿发生了什么(What happens at the edge of a black hole)? ③暗能量的本质是什么(What is Dark Energy)?

2007 年 9 月,由美国国家科学院空间研究委员会、物理与天文研究委员会组织对“超

爱因斯坦”计划中的5个候选项目进行了评估。其中,暗能量探索首先得到了支持;引力波探测计划排在第二位;Con-X观测预期可以对天体物理的多个领域做出重要贡献,但是与“超爱因斯坦”计划中科学问题的检验相比,不如前两者那样具有决定性的意义,因而只能在广泛的范围内进行支持;黑洞探测者和宇宙暴涨探测者两项由于科学视野和技术准备不足等原因排在最后。

2. ESA“宇宙憧憬”计划

ESA制订了“宇宙憧憬”计划,其中涵盖空间天文学、日地物理学和太阳系探测等。在“宇宙憧憬”计划中,两个高能天文观测项目宇宙演化X射线光谱探测天文台XEUS(X-ray Evolving Universe Spectroscopy)和 γ 射线成像望远镜GRI(γ -Ray Imager)都被列入了。

XEUS采用编队飞行,运行在日地连线上地球的外侧约150万km的拉格朗日点 L_2 上,主要科学目标:①观测星系团并用之作为探针去探索暗物质和暗能量;②红移 $Z=10$ 处的第一代超大质量黑洞及其与星系形成之间的关系;③黑洞附近引力、空间和时间的特性;④极端条件下物质的状态及其极度塌缩星的结构。XEUS将在2017—2020年间发射。GRI也需要采用编队飞行,放置在拉格朗日点 L_2 上,将在XEUS之后实施。

Con-X、NuSTAR、XEUS、GRI等突出的特点:①能量都扩充到硬X射线能区($>30\text{keV}$)以研究非热物理过程;②探测灵敏度比以往卫星提高一个数量级以上,通过采用大的探测面积和实现聚焦成像来实现;③采用量能器或劳厄衍射技术以获得高的能量分辨率。这些天文观测将对宇宙的了解带来革命性的变化。

(二)国际空间物理学态势

空间物理学把日球层作为一个系统,研究太阳、太阳风同行星、彗星的上层大气、电离层、磁层、高能粒子、其他星际物质间的相互作用。人类特别关注的是20~30km以上的中高层大气、电离层、磁层、行星际直到太阳大气这一广阔的日地空间环境中的基本物理过程,这是当代自然科学最活跃的前沿学科之一。空间物理强调与应用的密切结合,产生了一门专门研究和预报空间环境中灾害性过程的变化规律,减轻或防止空间灾害,为人类活动服务的空间天气学科。

长期以来,在空间物理学中,存在着四个关键的物理问题,尚待深入认识。

1. 关键物理问题

(1)磁场重联。磁场重联是将磁能快速转换为粒子能量的过程。它发生在包括从地球磁尾到太阳耀斑的不同的空间区域,具有截然不同的空间特征尺度。太阳耀斑、日冕物质抛射和地球磁暴等对空间系统构成严重威胁,形成空间天气事件,这可能是由磁场重联所引起的。重联过程的发生局域(扩散区)与事件的空间特征尺度相比都非常小。如磁层顶的磁场重联的扩散区特征尺度大约在几百千米的量级,而磁层顶的面积大约是600亿 km^2 。目前,在近地空间,还没有载专门仪器探测扩散区的卫星,对太阳成像观测还不具有对太阳耀斑的磁场重联扩散区的空间分辨能力。对触发和控制磁场重联物理过程的空间探测和研究具有十分重要的科学和应用价值。

(2) 粒子加速和传输。在太阳和行星际加速的高能粒子和来自太阳系之外的高能宇宙线,对载人和航天器探索太阳系构成严重威胁。地球和行星磁层产生和捕获的高能粒子也会对探测器有严重的影响。要预报这些高能粒子效应,就必须了解产生高能粒子的空间位置和粒子加速机制,以及高能粒子在空间的传播规律。目前,粒子加速的理论众多,比较流行的包括平行背景磁场的准静电场加速、波的平行电场加速、费米加速和沿电场分量方向的粒子漂移加速等。一般认为,粒子在日冕物质抛射所驱动的前沿激波加速是产生缓变太阳能量粒子事件的最可能的来源。另一方面,产生的高能粒子在太阳系中传播受到太阳风的调制,然而太阳风的起源至今还是一个不解之谜。

(3) 等离子体和中性大气的耦合。整个太阳系,无论是太阳的过渡区,行星的高层大气,还是日球和星际物质相互作用区,等离子体都是在背景中性气体的包围之中。等离子体和中性气体发生复杂的相互作用,能量和动量通过相互作用而重新分配。太阳通过光子、粒子和场的各种形式影响行星高层大气。重力波、长周期的扰动、垂直风和湍流等大气物理过程都与太阳风和地球或火星等行星大气的相互作用密切相关。光电离和电荷交换作用导致的载荷过程是太阳系普遍存在的物理过程,它是太阳风和行星大气、彗星大气与星际风的相互作用的主要过程。

(4) 磁场产生的发电机过程及其对空间环境的控制。太阳的变化磁场是太阳粒子加速的能量源头,行星际磁场的结构也控制了宇宙线进入到太阳系的传输过程。目前太阳磁场发电机理论第一次能够根据前一个太阳周子午面的等离子流动来估计下一个太阳周的时间长短。然而,这些模型对于预报太阳周变化的幅度,太阳周是否是双峰结构却无能为力。对太阳发电机过程的深入研究是预报太阳长期变化的必由之路。地球磁场的变化和南北极倒转都将削弱地球磁场对我们的保护,而所有这些变化都与产生磁场的发电机过程和演化密切相关。

在空间物理学中,综合性核心科学问题包括:①太阳剧烈活动的产生机理及太阳扰动在行星际空间中的传播与演化规律;②地球空间暴的多时空尺度物理过程及空间环境和空间天气的物理与数值预报模型;③日地链锁变化中的基本等离子体物理过程;④地球空间环境与行星空间环境的比较研究;⑤太阳活动与日地链锁变化对气候与生态环境的影响及人为活动对空间环境的影响;⑥日地空间环境和空间天气对国防安全与航天活动的保障研究。

2. 空间物理探测

JAXA 日升(Hinode)、NASA 日地关系天文台(STEREO)卫星相继发射成功。Hinode的主要科学目标是理解太阳磁场如何产生,能量如何由光球向上输运,以及这些能量,特别是磁能,是如何被爆发式释放的。STEREO由两颗子卫星组成,到达绕日运行轨道后,分布在地球的两侧,形成对日观测的立体视角。主要科学目标是理解导致日冕物质抛射(CME)的物理过程,跟踪其加速和传播,研究能量粒子的加速区域和物理机制,观测太阳风的结构与性质等。20世纪70年代末,美国宇航局发射旅行者2号飞船,在2007年8月30日,经过30年的长途跋涉,在离地球85AU(天文单位)处对终止激波进行了就地直接观测,并在人类历史上第一次能传回太阳系边缘的信息。

磁层空间探测发展新的重要趋势是空间的多点探测和成像探测。ESA的“Cluster

计划”包括 4 颗卫星,近地点 $\sim 4R_E$ 、远地点 $\sim 19.6R_E$ 、倾角约 90° ,是国际空间探测中第一个实行局域多点探测的卫星计划,是 ESA 空间科学探测的里程碑。其科学目标是探测地球空间环境的三维小尺度结构,分辨时间与空间变化。地球空间双星探测计划(简称双星计划)是我国首次提出的探测计划,并参加国际合作的重大空间科学探测。双星计划的两颗卫星运行于目前国际日地物理计划(ISTP)卫星在地球空间尚不能覆盖的近地磁层重要活动区,形成了具有创新特色和独成体系的星座式探测系统。Cluster 卫星(2000 年发射)计划和中国双星计划(2003 年和 2004 年发射)相互配合,形成了人类历史上地球磁层空间的首次六点探测。NASA 的 THEMIS 由 5 颗卫星组成,于 2007 年发射,其主要科学目的是确定磁层亚暴的起始和宏观演化。每隔 4 天,有一次机会 5 颗卫星的远地点排列在磁尾一条线上,这样每年有 300 个小时可以排成对来观测亚暴物理过程的时间序列。与地面覆盖加拿大和阿拉斯加的全天空极光监测相配合,充分利用卫星—地面观测数据联合分析的手段,重点增强对触发亚暴的不稳过程、辐射带电子的加热机制以及日侧太阳风与磁层的耦合过程的了解。

近年来,利用新原理、新方法,电离层探测已经进入了实用阶段,并开始取得成果。国际上,在着力发展空间探测的同时,也十分注重地基观测。事实上,在大型国际合作计划“国际与日同在”计划和“日地系统空间气候和天气”计划中,地基观测是非常重要的组成部分。正是由于具有“5C”(连续、方便、可控、可信和便宜)的优越性,地基观测是空间环境监测的基础,也是空间探测计划的重要补充。由于对空间环境进行全天时和整体性监测的需求,世界空间环境地面监测正沿着多台站、网络式综合监测的方向迅速发展。最近,加拿大提出了地球空间监测计划(CGSM),包括了协调观测、数据同化和模式研究等各个方面。作为世界最先进的空间环境监测国家,美国在众多的卫星探测计划之外,也提出了先进模块化的可移动雷达(AMISR)计划,通过 2007—2012 年和 2013—2016 年两个阶段的研制与发展,为研究迅速变化的高层大气以及观测空间天气事件提供强有力的地面空间环境监测手段。

总之,近年来,国际上空间物理探测发展趋势主要有:①进一步开展日地系统整体联系过程的研究,并延拓为太阳—太阳系整体联系,天基与地基相结合的观测体系将日趋完善;②发展小卫星编队飞行探测技术,观测小尺度三维结构,区分时—空变化;建立大尺度的星座观测体系,实现立体和全局性的观测。

3. 空间物理学进展

尽管磁场对太阳和日冕物理至关重要,目前仍没有直接测量日冕磁场的技术手段。因此,如何通过模型外推,根据光球磁场的观测数据来获得日冕磁场参数一直是相关研究的热点。常用的势场外推结果难与许多日冕特征相符,特别是在通常感兴趣的电流片、日珥、耀斑和 CME 源区等处尤为明显。近年来,非线性无力场外推技术(NLFF)得到了较大的发展。

太阳爆发活动是影响地球空间环境的主要因素。据统计,耀斑的发生率与活动区磁场复杂程度密切相关。目前,日冕物质抛射事件(CME)主流模型是所谓能量储存与释放模型,认为爆发能量来自事先储存于日冕之中的磁场,在某种磁场不稳定性触发后获得快速释放。一般认为,太阳爆发主要与相应活动区的磁场拓扑相关。然而,最近关于 2000 年 Bastille 日事件的研究表明,不同活动区间的相互影响,对 CME 的产生非常重要。在

三冕流磁绳系统中研究磁绳爆发对临近磁绳稳定性影响的研究中,发现不同活动区的磁绳灾变行为可通过全球尺度的拓扑联结相互影响,为上述观测及近来发现的交感事件(sympathetic events)建立了一种新的物理模型。

经过半个世纪的研究,日冕加热和太阳风的起源与加速机制仍然没有得到彻底解决。有关探讨集中于两种可能的加热机制:一种是通过湍流或各种波动现象与等离子体的相互作用加热日冕和产生太阳风,称为 AC 模型;另一类模型则认为不同磁环系统、开闭磁结构间的重联过程直接加热日冕,称为 DC 模型。

行星际空间是太阳向地球输运能量、动量和质量地传输通道,它像一条纽带把太阳和地球密切联系起来,研究日冕物质抛射事件及其在行星际空间的动力学过程成为近年来行星际物理的主要内容。太阳极轨探测飞船 Ulysses 继续探测三维太阳风结构,而 ESA 在 2006 年进入轨道的金星快车提供给我们 0.7AU 附近的太阳风信息。在行星际中的多种间断面,如电流片、激波间断、接触间断、阿尔芬间断等,与行星际扰动的相互作用、多重 CME 的相互作用、行星际激波的相互作用、行星际磁重联、太阳能量粒子在行星际的传输等方面都取得了重要进展。

多个磁层卫星的联合、协调探测,取得了大量多空间层次和多时空尺度的探测数据,磁层物理研究在磁暴、磁层亚暴的爆发机制及其相互关系、磁场重联、ULF 波动以及波粒相互作用、磁层空间环境对行星际扰动的响应以及高纬地区磁层—电离层耦合等方面取得了一批新的研究成果。

中、低纬电离层物理在电离层与相邻层次的相互耦合与相互作用过程、电离层气候学特征及其模式化以及新原理新方法的电离层探测等若干领域取得了重要进展和突破。电离层耦合过程研究领域中的当前主要研究进展聚焦到两个重要方向上:一是电离层与下层大气的耦合,二是高低纬度之间的电离层耦合。电离层与低层大气耦合的主要形式是中低层大气波动对电离层的作用,涉及大气重力波、潮汐、行星波对电离层结构和扰动的影响。近期发现的非迁移大气潮汐 DE3 模式,能引起电离层沿经度的 4 波结构,导致一种重要的电离层经度效应,是当前赤道和低纬电离层研究的一个十分重要的热点。此外,电离层与岩石圈的耦合研究受到了特别重视,因为这一研究方面包含了地震的电离层效应,尤其是在地震是否存在电离层先兆,是当前正在进行争鸣的一个敏感问题。电离层气候学研究涉及电离层的年度变化、太阳活动依赖性以及长期趋势等不同气候学尺度的电离层变化。在电离层探测方面,无线电和信息学最新技术被用于传统的电离层探测,发挥了重要作用。

近年来,美国 NASA 和自然科学基金会(NSF)分别推动的“大气各区域耦合、热力学和动力学计划”(CEDAR Phase III)和“热层、电离层中间层热力学和动力学使命”(“TIMED” Mission),直接关注于中、高层大气的观测与数值建模工作。极区空间物理以极区中、高层大气研究为纽带开展。极区中、高层大气作为来自太阳风和磁层能量沉积的主要区域,对空间扰动响应较为直接。因此,加强极区监测,以利于开展空间天气研究、现报和预报。

(三)国际月球和行星科学态势

月球是离地球最近的天体,随着载人航天技术的发展,人们又再次强调了新的、更高

的太空探索目标:在2020年,重返月球和建立月球基地;在2030年,载人登陆火星;增强地外生命搜寻等。

国际上,陨石研究包括月球和行星陨石研究的趋势:①热点研究领域是前太阳物质、灭绝核素、太阳星云的凝聚和分馏、行星的早期演化和冲击变质作用;②测试方法上,趋于采用高精度测试技术和原位分析技术方法,如离子探针和LA-MC-ICPMS;③特殊类型陨石研究,特别是火星陨石和月球陨石;④研究对象多元化,由单个陨石研究趋于多陨石对比研究;⑤研究对象趋于小型化,如微陨石和陨石中的前太阳颗粒;⑥多学科交叉的特点,如太阳系外物质研究就包含了天体化学、天体物理、宇宙学、核物理等多学科;⑦模拟实验与自然陨石对比研究。

(四)国际空间生命科学态势

空间生命科学是借助航天技术提供的试验平台,研究在空间环境特殊因素作用下生命活动现象和过程的科学。空间生命科学的发展与航天技术的进步是分不开的,苏联的和平号空间站、美国的航天飞机、在建的国际空间站以及我国的返回式科学实验卫星和“神舟号”飞船等,都为空间生命科学提供并创造了发展平台。

目前,人类计划和正在建立可以长期生存的空间设施,包括轨道空间站、月球站、载人火星飞行器以及深空载人飞船等,这些包含着对空间生命科学与技术的依赖。

空间生命科学主要研究生命起源、生存、进化及空间效应等。国际上普遍认为,空间生命科学包括:航天医学/生理学、载人航天中的心理学和人的工效学、受控生态生命支持系统、重力生物学、空间放射生物学、空间生物技术、地外生物学等。

空间生物学的研究目的,除了为病理学和治疗方法奠定基础之外,还包括纯科学意义上的基础研究。因此,主要是利用空间的微重力、宇宙辐射和磁场变化等环境,以动物、植物、微生物等为研究对象,从整体、组织、细胞乃至分子水平上观察生物系统的反应,研究这些因素的作用规律。

随着载人航天技术的发展,人们又再次强调了新的、更高的太空探索目标。从已有的人类空间活动也发现了空间环境(微重力、宇宙辐射、昼夜节律变化、孤独、噪声等)对航天员的身心健康和工作效能所带来的更多危害,从而要求更深入地进行航天医学和心理学以及基础生物学研究。

同时,更广泛的需求将初步的生命支持系统提高到更复杂的系统,扩展到受控生态生命支持系统;从初期只考虑物理、化学手段的系统,扩大到包含人、动物、植物、微生物等多种对象的复杂生态系统;研究的性质也从纯粹的工程任务,演变为综合性的科学问题。

随着空间探索的不断发展,对于地外是否有生命存在以及其存在条件的探索,也有了越来越多的可能性。

(五)国际微重力科学态势

微重力科学和应用研究走过了比较平静的几年。在国际上,以美国、俄罗斯和欧洲的主要国家以及日本等国参与建设的国际空间站,尤其是用于微重力科学研究的主要设备