



2011—2012

*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

空间科学
学科发展报告

中国科学技术出版社





2011-2012

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

2011—2012 空间科学学科发展报告/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,2012.4
(中国科协学科发展研究系列报告)
ISBN 978-7-5046-6026-8

I. ①2… II. ①中… ②中… III. ①空间科学-学科发展-
研究报告-中国-2011—2012 IV. ①V1-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 042208 号

选题策划 许 英
责任编辑 李惠兴
封面设计 中文天地
责任校对 凌红霞
责任印制 王 沛

出 版 中国科学技术出版社
发 行 科学普及出版社发行部
地 址 北京市海淀区中关村南大街 16 号
邮 编 100081
发行电话 010-62173865
传 真 010-62179148
网 址 <http://www.cspbooks.com.cn>

开 本 787mm×1092mm 1/16
字 数 300 千字
印 张 11
印 数 1—2500 册
版 次 2012 年 4 月第 1 版
印 次 2012 年 4 月第 1 次印刷
印 刷 北京凯鑫彩色印刷有限公司

书 号 ISBN 978-7-5046-6026-8/V·61
定 价 33.00 元

(凡购买本社图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换)
本社图书贴有防伪标志,未贴为盗版

2011—2012
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 (按姓氏笔画排序)

丁 柏	马宇倩	王 赤	卢方军	庄逢源
刘志恒	刘建忠	刘秋生	孙丽琳	杨一德
李莹辉	李惕碚	李喜先	邱 理	陈善广
黄显林	谢 锋			

学 术 秘 书 王占群

序

科学技术作为人类智慧的结晶,不仅推动经济社会发展,而且不断丰富和发展科学文化,形成了以科学精神为精髓的人类社会的共同信念、价值标准和行为规范。学科的构建、调整和发展,也与其内在的学科文化的形成、整合、体制化过程密切相关。优秀的学科文化是学科成熟的标志,影响着学科发展的趋势和学科前沿的演进,是学科核心竞争力的重要内容。中国科协自 2006 年以来,坚持持续推进学科建设,力求在总结学科发展成果、研究学科发展规律、预测学科发展趋势的基础上,探究学科发展的文化特征,以此强化推动新兴学科萌芽、促进优势学科发展的内在动力,推进学科交叉、融合与渗透,培育学科新的生长点,提升原始创新能力。

截至 2010 年,有 87 个全国学会参与了学科发展系列研究,编写出版了学科发展系列报告 131 卷,并且每年定期发布。各相关学科的研究成果、趋势分析及其中蕴涵的鲜明学术风格、学科文化,越来越显现出重要的社会影响力和学术价值,受到科技界、学术团体和政府部门的高度重视以及国外主要学术机构和团体的关注,并成为科技政策和规划制定学术研究课题立项、技术创新与应用以及跨学科研究的重要参考资料和国内外知名图书馆的馆藏资料。

2011 年,中国科协继续组织中国空间科学学会等 23 个全国学会分别对空间科学、地理学(人文-经济地理学)、昆虫学、生态学、环境科学技术、资源科学、仪器科学与技术、标准化科学技术、计算机科学与技术、测绘科学与技术、有色金属冶金工程技术、材料腐蚀、水产学、园艺学、作物学、中医药学、生物医学工程、针灸学、公共卫生与预防医学、技术经济学、图书馆学、色彩学、国土经济学等学科进行学科发展研究,完成 23 卷学科发展系列报告以及 1 卷学科发展综合报告,共计近 800 万字。

参与本次研究发布的,既有历史长久的基础学科,也有新兴的交叉学科和紧密结合经济社会建设的应用技术学科。学科发展系列报告的内容既有学术理论探索创新的最新总结,也有产学研结合的突出成果;既有基础领域的研究进展,也有应用领域的开发进展,内容丰富,分析透彻,研究深入,成果显著。

参与本次学科发展研究和报告编写的诸多专家学者,在完成繁重的科研项目、教学任务的同时,投入大量精力,汇集资料,潜心研究,群策群力,精雕细琢,体现出高度的使命感、责任感和无私奉献的精神。在本次学科发展报告付梓之际,我衷心地感谢所有为学科发展研究和报告编写奉献智慧的专家学者及工作人员,正是你们辛勤的工作才有呈现给读者的丰硕研究成果。同时我也期待,随着时间的久远,这些研究成果愈来愈能够显露出时代的价值,成为我国科技发展和学科建设中的重要参考依据。

A stylized, handwritten signature in black ink, likely belonging to Shi Ming, positioned above the date.

2012年3月

前 言

2011年4月,中国空间科学学会承担了《空间科学学科发展报告》的研究工作。5月初,学会就组织了参加本报告研究的人员会议,讨论开展研究的目的、进度等,并布置各专业委员会组织专家进行相应的研究工作。会后,颁发了《编写大纲》(草稿)。按大纲要求,明确各专题研究报告应完成的任务,并与综合发展报告涉及的内容一致。

12月14日,召开了专家会议,对《空间科学学科发展报告》(初稿)进行了讨论。接着,根据意见进行了多次修改。

由于空间科学发展与国家航天技术的发展计划关系极其密切,涉及的研究计划时间尺度长、范围宽,在短期内,如一、二年,只能是与长期计划相关的一个阶段的研究成果。因此,本发展报告前后联系很密切。

本报告包括综合报告和专题报告两部分。综合报告分为4大部分:其一,引言,即综合报告的高度概括;其二,我国空间科学最新进展;其三,国际空间科学态势;其四,我国未来几年空间科学的发展趋势。详细论述的专题报告共有7个:空间天文学进展,空间物理学进展,月球科学与比较行星学进展,空间生命科学进展,航天医学进展,微重力科学进展,空间遥感研究进展。最后,并附有空间科学战略性先导科技专项进展。

为了更好地发展我国空间科学,也论及了国际空间科学态势。实际上,这就是与我国空间科学状况进行比较,从中得到启迪,为我所用。

本研究得到了中国科学院国家天文台、高能物理所、物理所、动物所、空间科学与应用中心、中国航天员训练中心等单位的大力支持,特别是有许多专家参加了本报告的研究,特一并致谢。

中国空间科学学会

2012年1月

目 录

序	韩启德
前言	中国空间科学学会

综合报告

空间科学新进展和发展趋势	(3)
一、引 言	(3)
二、我国空间科学最新进展	(3)
三、国际空间科学态势	(11)
四、我国空间科学发展趋势	(22)
参考文献	(32)

专题报告

空间天文学进展	(35)
空间物理学进展	(51)
月球科学与比较行星学进展	(69)
空间生命科学进展	(85)
航天医学进展	(99)
微重力科学进展	(108)
空间遥感研究进展	(119)
空间科学战略性先导科技专项进展	(142)

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

Advances in Space Science	(149)
---------------------------------	-------

Reports on Special Topics

Advances in Space Astronomy	(151)
Advances in Space Physics	(152)
Advances in Lunar Science and Comparative Planetary Science	(154)
Advances in Space Life Sciences	(154)
Advances in Space Medicine	(156)
Advances in Micro - Gravity Science	(156)
Advances in Remote Sensing	(157)
Advances in Space Science Strategic Pioneer Program of CAS	(161)

综合报告

空间科学新进展和发展趋势

一、引言

人类的太空活动日益频繁,国际空间科学有了重大发展:现代的空间天文观测革新了人类对宇宙的认识,使宇宙学研究进入了精确科学的时代;目前,人类已有能力将太阳系作为一个有机整体,进行多个卫星联合探测;月球和行星探测都有新进展,相继发现了太阳系木星、土星、火星等天体存在的新现象;微重力科学正在利用国际空间站(ISS)进行多类科学研究。

近年,我国空间科学也有了重大进展:空间天文学新开展了多项有重大意义的研究;空间物理学取得了重大成就,特别是,地球空间探测双星的科学成果获得了国家、国际成就奖,在理论上已进入国际空间物理研究前沿;月球科学有了新进展,“嫦娥一号”、“嫦娥二号”卫星的探测获得重大的科学成就,探月工程正进入“落”的阶段;我国空间生命科学有了新的进展。

今后几年,空间天文学重点在于加强高能天文学的发展;空间物理学主要要加强日地物理学研究,以适应国家的战略需求,提高航天活动安全保障能力;月球和行星科学的发展,重点在月球科学,因而要加紧实施探月二期、三期工程和载人登月的论证;在载人空间站进入初期阶段,要将航天医学空间实验和地基研究更好地结合起来。

二、我国空间科学最新进展

(一)我国空间天文学最新进展

我国空间天文学发展的重点在高能天文学,而高能天文观测总是与大科学装置的发展紧密相连。目前,新开展了4项具有重大意义的空间天文学研究,包括正在研制先进的观测装置。

1. 宽波段 X 射线扫描巡天

为增强高能天文学研究,我国正在研制硬 X 射线调制望远镜(HXMT),其中包括软 X 射线望远镜、中能 X 射线望远镜和高能 X 射线望远镜。预计 2014 年左右发射,预期寿命 4 年。

HXMT 的核心科学目标:①实现宽波段 X 射线扫描巡天,探测超大质量黑洞和未知类型天体,研究宇宙 X 射线背景和 AGN 的统计性质;②定点观测,研究致密天体和黑洞强引力场中动力学效应和高能辐射过程。

2. 捕捉更高红移的伽玛暴

中法合作正在研制的空间变源监视器卫星(SVOM),计划在 2014 年前后发射。

SVOM 和正在运行的美国多波段伽玛暴高能天文卫星雨燕(SWIFT)相比,触发能量阈值更低,因而具有捕捉到更高红移(产生时间更早和距离我们更远)的伽玛暴的能力。SVOM 的伽玛射线监视器对伽玛暴具有更好的能谱测量能力,因此能够更好地利用伽玛暴作为最遥远宇宙的探针,研究宇宙的演化以及暗能量。光学望远镜对于伽玛暴余晖的测量,对于研究各种类型伽玛暴的本质并发现新类型的伽玛暴具有重要意义。

3. 开启伽玛暴偏振测量新窗口

伽玛射线偏振探测器(POLAR),计划搭载于“天宫 2 号”,在 2014 年发射。目前,国际上还没有专用的空间伽玛偏振测量仪器,而伽玛暴的偏振被认为是伽玛暴的最后一个观测量。因此,POLAR 实验将开启一个空间天文学研究的新窗口,预期可对理解伽玛暴的中心发动机机制和极端相对论喷流的性质。

4. 探测暗物质粒子

2011 年 3 月,暗物质粒子探测卫星进入研制阶段,计划于 2015 年左右发射,预期寿命超过 3 年。通过高分辨观测高能电子和伽玛射线能谱及其空间分布,寻找暗物质粒子;通过测量 TeV 以上的高能电子能谱,研究宇宙线起源;通过测量宇宙线重离子能谱,研究宇宙线传播和加速机制。卫星观测能段、能量分辨等优于国际上所有同类探测器。可望在暗物质探测和宇宙线物理这两大科学难题上取得突破,从而更好地研究宇宙射线起源以及伽玛射线天文学。

(二)我国空间物理学最新进展

我国空间物理学有了重大的发展,包括实现了的一系列探测计划,即将实施的大型计划:获得大量成果而有国际影响的双星计划,正在进行的“夸父”计划,预设的磁层、电离层、热层(MIT)耦合星座探测计划,以及进入运行的地基探测系统——子午工程。在理论上,也有了新的进展。

1. 双星计划的进展

双星包括近地赤道区卫星(TC—1)和极区卫星(TC—2),目前运行在国际上地球空间探测卫星尚未覆盖的近地磁层活动区。

这两颗卫星相互配合,并与欧空局(ESA)的“星簇计划(Cluster)”相配合,构成了对地球空间的“六点”探测,研究地球磁层整体变化规律和爆发事件的机理,并获得了突破性的理论成果。

1) 共获得 480GB 数据。数据库的用户网页(<http://www.cddc-dsp.ac.cn/>)日均访问量超过 1700 次。

2) 在两个顶级国际核心期刊 *Annales Geophysicae* 和 *J. Geophysical Research* 上各出版成果专刊一期。

3) 双星计划获得 2010 年度国家科学技术进步奖一等奖。

4) 双星计划和星簇计划团队共同获得国际宇航科学院“2010 年度杰出团队成就奖”。这是国际航天领域极高的荣誉,也是中国第一次获此殊荣,因而产生了较大的国际影响。

2. 正在实施的“夸父”计划

“夸父”计划的科学目标是要实现全面探测太阳风暴和极光。为此,要建立一个由3颗卫星组成的空间观测系统:一颗星位于地球与太阳连线引力平衡处第一拉格朗日点上,另外两星在地球极轨上共轨飞行。这3颗星的运行轨道将能实现从太阳大气到近地空间完整的扰动因果链联测。这一计划已列入中国科学院战略性先导科技专项。

3. MIT 耦合星座探测计划

磁层、电离层、热层(MIT)耦合星座探测是利用小卫星星座系统进行探测的计划,也是国际上首个把MIT作为一个整体探测的计划,从而具有开创性和挑战性:解决MIT耦合系统中能量耦合、电动力学和动力学耦合以及质量耦合等方面的重大科学问题,揭示MIT系统相互作用的关键途径和变化规律。

4. 进入运行的地基探测系统——子午工程

地基探测系统是空间科学研究的组成部分。经3年多的建设,子午工程——东半球空间环境地基综合监测子午链,2011年已开始运行。这是国家重大科学工程系统:沿东半球 120°E 子午线附近形成的链,共有15个观测台站。它以链为主、链网结合;运用无线电、地磁、光学和探空火箭等多种探测手段;可以连续地监测地球表面20~30km以上到几百千米的中高层大气、电离层和磁层,直到十几个地球半径以外的行星际空间环境中的地磁场、电场,中高层大气中的风场、密度、温度和成分,以及电离层、磁层和行星际空间中的有关参数。这是联合运作的大型空间环境地基监测系统,具有全球性、地域性和先进性,是世界上跨度最长、功能最全、综合性最高的子午链,为世界仅有,可进行其他国家和地区难于开展的国际最前沿课题研究。

5. 空间物理学在理论上的重大进展

在理论上,我国空间物理学有了重大的进展。这包括一系列重大领域的研究:①太阳大气磁天气过程;②太阳风的起源及其加热和加速;③行星际扰动传播;④磁暴和亚暴的产生机制;⑤磁重联过程;⑥太阳风与磁层的相互作用;⑦中高层大气动力学过程;⑧电离层的建模以及区域异常;⑨地磁、电离层天气预报方法和极区光学;⑩空间等离子体基本过程(如磁重联、等离子体波的激发、粒子加速等)等。这些研究都产生了一批有国际重要影响的工作,进入国际研究前沿,为空间物理学迎来一个“黄金发展期”。

(三)我国月球科学和比较行星学最新进展

月球科学与比较行星学的发展既依赖于陨石学研究,又依赖于空间探测。

1. 陨石学的新进展

陨石来自地球之外太阳系内行星和小行星的岩石或物质,记录了太阳系形成和行星演化的重要信息,是探索太阳系起源的重要窗口。

(1) 南极陨石收集与分类

南极格罗夫山是我国发现的一个南极陨石富集区,科研人员先后在该地区收集了1万多块陨石。2009、2010年两年,格罗夫山综合考察中再次收集陨石1618块。

(2) 特殊类型陨石的发现

2011年,我国在陨石研究中发现一些特殊类型陨石:E/H过渡型陨石、冲击熔融型普通球粒陨石、原始的普通球粒陨石、火星陨石、月球陨石、灶神星陨石。

(3) 冲击变质作用研究

冲击变质效应是陨石的一个基本特征,我国在这个领域开展了较多的研究:①冲击变质程度;②冲击熔融和分离结晶理论;③高压相变;④冲击变质历史;⑤陨石磁化率。

2. 月球科学的新进展

我国主要通过月球探测工程,进行月球科学研究。月球探测工程分三个阶段实施,即绕、落、回三个阶段。

(1) 探月的工程目标

目前,工程正进入“落”的阶段,主要目标是实现月球表面软着陆与月球巡视探测,进行月表形貌与地质构造调查、月表物质成分和资源勘察、月球内部结构研究和日—地—月空间环境探测与月基天文观测。

探月工程二期将实现我国首次地外天体的软着陆,使我国掌握深空探测和空间科学领域的核心技术。

(2) 探月的科学目标

探月的科学目标如下:①月表形貌与地质构造调查,包括着陆区和巡视区的形貌探测,撞击坑的调查与研究,月壤特性、厚度与月亮浅层结构探测,月球地质构造综合研究等四个方面;②月表物质成分和可利用资源调查,获取月球的化学成分、矿物组成、岩石类型及其分布规律,对着陆区和巡视区矿物组成与化学成分的就位分析,矿产与能源资源的调查与评估等;③月球内部结构研究,通过探测月震和小天体撞击引起的月震波反演月球的内部结构,通过精确测量月球轨道参数研究月球动力学、引力理论和月球内部结构;④日—地—月空间环境探测,开展月表太阳风、太阳耀斑和银河宇宙线高能粒子与低能离子月表粒子环境探测,开展对地球空间等离子体层极紫外成像探测;⑤月基光学天文观测,在月球上进行光学天文观测,填补国内外天文学研究领域空白。

(3) 探月的科学成就

开展了嫦娥工程科学数据反演和应用等的研究工作,主要包括:全月球数字地形图的研制及其相关技术的攻关;月球表面 γ 射线、X射线谱仪数据处理技术的研究以及月球表面U/Th/K以及Mg/Al等元素的含量与分布特征;干涉成像光谱仪数据的预处理技术与元素和矿物反演的研究;微波探测仪数据的处理与微波月球的研究;空间环境探测数据的处理与研究;月球地体构造与月球整体演化的研究;月球软着陆点候选区的优选研究等。

“嫦娥一号”的科学探测数据已经陆续发布,提供给了国内外的科学家,努力用我国自己的第一手探测数据研究出一流的科学成果。最近,“嫦娥二号”卫星获得了巨大科学成就。

3. 原计划的中俄合作火星探测失败

火星是位于地球轨道外侧的第一颗行星,通过探索火星,人类希望建立第二家园和寻

找地球外生命。

原计划中俄联合火星探测:其中,俄方研制福布斯探测器(Phobos),在火卫一上着陆、采集土壤并运输返回至地球;同时,利用火卫一为平台,探测火星的空间环境。中方研制“萤火一号”(YH—1)火星探测器,采用长方体结构,重量约为 115kg,环绕火星的大椭圆轨道上,轨道周期为 72.84 小时。预计,在 2011 年 11 月,俄方采用一箭双星的发射模式,将两个探测器发送至火星轨道开展联合探测。经过 10~11 个月的地球—火星的轨道转移飞行,在轨运行寿命 1 年。

YH—1 以火星空间环境探测为切入点,研究火星空间环境的结构及其随太阳风扰动的变化规律;研究火星大气中水分子损失的机制,估算火星在过去几十亿年的演化过程中,生命可居住性的变化特点。研究火星的磁场、大气和气候、空间环境、地貌等内容,并掌握其规律,是实现这一目标的重要途径之一。

YH—1 是我国第一个飞向地外行星际的飞行器,将首次获得行星际探测数据,这对我国空间科学的发展,以及未来自主地探测太阳系,都具有重要的意义。其意义包括:①探测火星的空间磁场、电离层和粒子分布及其变化规律;②探测火星大气离子逃逸率;③探测火星地形、地貌、气候变化与沙尘暴;④探测火星赤道附近的重力场。

2011 年 11 月 9 日,搭载中国首个火星探测器“萤火一号”的俄“福布斯—土壤”探测器从哈萨克斯坦境内的拜科努尔发射场升空。在同运载火箭分离后,该探测器因其主发动机未能启动而无法实现变轨,至今仍滞留在近地轨道。目前,俄方航天专家已经放弃了接收该探测器遥感信号的努力,俄国防部最新观测结果表明,这颗总重达 13.5t、造价约 50 亿卢布(约合 1.6 亿美元)的航天器将于 2012 年 1 月至 2 月间坠落至地球。

4. 探月的遥感技术

我国正在研制的月球车载红外光谱仪在可见近红外、短波红外谱段通过对软着陆区和巡视区的月壤、月岩、矿物及有用资源进行高分辨率成像光谱就位探测,获取月壤微粒形态特征、岩石纹理、矿物形状等形态学信息,同时获取月壤、岩石、矿物的成分和含量等与物性相关的光谱信息,确定主要矿物组成和岩石类型,为月球表面的岩石和矿物识别提供科学依据,并对 14 种有用资源(钛、铁、钍、铀、钾、氧、硅、镁、铝、钙、钠、锰、铬、稀土元素)利用前景进行评估。

(四)我国空间生命科学最新进展

空间科学已经成为世界多国面对的重大基础科学之一,其中以生命起源和地外生命寻找为主要目标的空间生命科学探索,不仅是当今的科学目标也是未来的发展憧憬。

2009 年,我国空间生命科学在《中国至 2050 年空间科技发展线路图》和《中国科学院在国家空间科学发展中的中长期发展规划》指引下,由原先注重卫星应用的“空间诱变育种”搭载试验研究,开始转向以空间基础生物学为主的地外生命科学探索。2011 年 7 月国家空间科学中心成立,它将根据国家需求,不断提出发展我国空间生命科学的战略思路、制定可持续发展的空间生命科学先导项目,为人类航天事业发展做出应有的贡献。

2010 年 4 月,我国科学家围绕地球生命起源与极端环境生物学、太阳系行星探索与保护、空间辐射生物学、载人航天遭遇的环境应激与对策、载人航天深空探测生命保障系

统等问题进行了研讨,进而提出我国空间生命科学发展的战略思想:

1. 空间基础生物学

空间基础生物学主要包括空间生物学效应、航天医学和生理学、地基或地外星球的受控生态生命支持系统与生物安全监控,研究火星“地球化”途径。

2. 生命的起源和演化

在这方面主要探索地球极端环境中的生命现象与形式、地基模拟极端环境中生物大分子的生成及生命形式、地基研究生物细胞的构建、分化与发育构成、生物对地外环境的适应性。

3. 空间生命科学前瞻技术预研与基础能力建设

这方面的工作主要包括构建我国空间站和登月、探测火星活动的生命安全保障系统的概念并开展研究,搭建生物力学工程与技术平台。

4. 开展国际合作和利用我国的空间计划

这是长远的计划,主要探索和发现太阳系外恒星和探索地外可能存在生命的类地行星。

(五)我国航天医学最新进展

载人航天对航天医学的发展具有巨大的推动作用。近年来,我国载人航天取得了跨越式的发展,“神五”、“神六”、“神七”飞船先后 3 次完成载人飞行并实现出舱活动。

2010 年 9 月,我国进入载人空间站工程。伴随载人航天的快速发展,我国航天医学也不断深入和推进,新的研究重点开始关注天地基实验间的差异和联系,特别是注重利用对空间飞行样本进行分析所获得的数据,系统地阐明空间环境对人体影响的效应及机理。

1. 参与“火星 500(Mars500)”全程模拟实验

2010 年 6 月,由俄罗斯生物医学问题研究所(IBM P)牵头,组织了实施火星 500 天实验,即对整个火星任务周期全程进行模拟。6 名志愿者全封闭时间达 520 天。该计划包括俄、美、中、德、法、意、日、韩等 40 多个国家参加,研究项目多达 100 余项。

中国航天员科研训练中心航天医学基础与应用国家重点实验室志愿者王跃参与实验,其中承担乘组中载荷专家角色,在舱内除按计划完成试验工作外还负责中方参试项目的数据采集、传输、设备维护等。同时,还有 3 项科学研究参加了 Mars500 实验:长期密闭环境人体中医辨证研究;地面模拟环境对近日生物节律与氧化应激的影响研究;长期密闭环境及不同文化对乘组成员非言语交流的影响。

2011 年 11 月 4 日,试验圆满完成,6 名志愿者全部出舱。

2. 失重生理效应及防护措施研究

1)空间环境的生理适应,包括心血管、神经、肌肉、骨骼以及运动感觉系统等方面,已有许多研究,但其发生机理以及对航天员完成任务能力的影响尚不清晰。

2)头低位人体卧床实验是在地面开展失重生理学效应研究的有效手段。

中国航天员科研训练中心在国内首次组织有法国航天局、香港中文大学等单位共同

参与的 60 天头低位卧床大型综合实验。通过头低位人体卧床实验,研究了失重生理效应的综合防护措施。

3) 长期飞行的另一重要效应是对学习、记忆能力的影响。

采用尾吊 SD 大鼠制作模拟微重力动物模型,研究模拟微重力对海马皮层的超微结构和脑内相关核团神经递质的影响,并观测了尾吊对 SD 大鼠空间学习、记忆能力的影响。

4) 中药对抗失重生理效应的作用也得到广泛研究。

北京中医药大学重点研究了失重和辐射的生物学效应及中药的调节作用。

3. 空间细胞分子生物学研究

1) 对不同类型、形式的细胞,空间环境的细胞学效应及机制研究。

成骨细胞是骨细胞重力响应过程中最重要的感受体;失重环境下的骨丢失主要是因为成骨细胞功能的变化引起的。因此,对成骨细胞的增殖、分化以及信号转导等功能进行了深入的研究,最新的研究已经从 miRNA 水平来探索骨丢失变化中的分子机制。

2) 在启动子水平研究了重力因素对骨髓间质干细胞心肌向分化的影响;证明超重可提高骨髓间质干细胞修复受损心肌并同宿主心肌组织整合的能力;发现超重通过影响 HDAC 激酶的活性来促进 HDAC4/5 的核质转位。

总之,利用建立的氧化应激评价体系,针对回转器回转、尾部悬吊、头低位卧床等地基模拟失重以及空间飞行条件,从细胞、动物、人体多层次评估了失重、模拟失重后氧化应激的变化特征。发现模拟微重力效应使得大鼠脑组织发生了氧化应激,不同部位脑组织对氧化应激的反应程度不同,在对不同时程模拟微重力效应的响应过程中,大鼠脑组织呈现从适应性反应到不可逆性损伤的变化历程;空间飞行也出现不同程度的氧化应激,充分说明长期微重力条件下对氧化应激进行干预的必要性。开展了中药对模拟失重神经细胞氧化应激保护作用研究,发现槲皮素可以通过抑制 RNS 产生,对神经细胞起到保护作用。黄酮类化合物异鼠李素和木犀草素对回转/尾吊模拟微重力导致的机体/神经细胞的氧化应激具有保护作用。

(六) 我国微重力科学最新进展

在空间基础物理研究方面,进行引力物理空间研究的空间陀螺-加速度计等效原理实验概念研究项目,2009 年 11 月至 2011 年 10 月已经启动,并开展了牛顿引力反平方定律的空间实验检验的方案论证和部分关键技术的研究。在空间冷原子干涉仪方面,我国进行了大量的前期工作,但仅涉及地面实验,尚无空间计划。目前,在微重力冷原子物理方面,国内尚无具体执行的项目。有几个单位均有能力进行空间 BEC 研究。

对于胶体体系的相变研究方面,我国研究人员在地面进行自组装形成胶体晶体方面开展了较多的工作。而在空间微重力环境下,进行胶体晶体的相变研究在载人航天工程二期已经立项,空间实验的准备工作正在进行中,已在 2011 年的天宫一号实验室中进行实验。

2010—2011 年间的最新进展:作为我国“战略性先导科技专项”之一,从 2010 年重新开始,对“实践十号”科学实验卫星上原定的 20 项科学实验项目进行了复审。该卫星计