

# 空间科学展望

中国科学院院士、国家微重力实验室主任 胡文瑞  
(中国科学院力学研究所,北京 100080)

## 一、空间科学

空间科学研究行星系统、恒星系统、星系、宇宙、以及生命物质等宇宙空间客体的结构和演化;以及在地球外空间进行生理学、生物学及微重力科学等精心设计的实验和研究。前者是在外层空间进行观测和测量,后者是将地面实验室的研究延伸到外层空间。当本世纪五十年代人造地球卫星被成功地发射到地外空间以后,人类的科学视野就极大地拓展了,人们可以直接地测量地球空间和行星际状态,可以更好地观测宇宙天体,对宇宙结构和演化的认识提高到了一个新的阶段。载人航天的进行促进了载人空间利用,使空间科学从观测和测量宇宙客体发展为利用外层空间特定条件进行精心设计的科学实验和研究。由此发展了空间生命科学,微重力科学等新兴的空间科学领域。空间科学的目标在于更好地理解天体及生命物质等空间客体的演化规律,以及利用空间环境的特定条件来发展自然科学的有关学科。空间科学的发展还特别着重于认识



和预测与人类活动密切有关的自然现象。在今后相当长的一段时间内,空间科学还会继续沿着这个趋势发展。

## 二、宇宙观测

在地球大气层以外观测和测量宇宙天体和过程有极大的优越性。空间探索不断开拓视野,从近地空间到深空,从地球磁层空间到行星际空间,从月球探测到太阳系探测,从太阳物理过程观测到宇宙天体的观测,空间探索极大地发展了空间物理学

和天文学。

空间物理学的发展有两个重点,即日地科学和行星探测。日地系统是太阳系中的一个局部系统,日地科学着重于研究太阳和日球层与地球空间的相互关系,特别是地球环境所受到的制约和影响。在今后一段时间,日地科学会专注于日地系统各典型区域之间的耦合过程;再进一步,则会将日地区域综合起来作为一个整体,研究其相互作用及关联的整体行为。目前正在实施的美、欧、日、俄等空间局

**胡文瑞**(Hu wenrui) 中国科学院院士。国家微重力实验室主任,中国科学院力学研究所研究员。长期从事流体力学和磁流体力学研究。七十年代开始空间物理和天体物理的理论研究,在星系螺旋结构、射电星系射流精细结构、宇宙磁场三维位形、太阳风加速、太阳耀斑、磁层亚暴等方面的理论研究中都有所建树。近年来,在我国带头开拓了微重力科学研究,在国际上首次测量出浮区液桥的表面波、振荡分叉及其它特征。一九八五年以后,承担一系列空间科学研究项目的学术组织和领导工作,这些学术组织工作为发展我国空间科学作出了重要贡献。他的学术探讨,开创了我国宇宙磁流体力学和微重力流体物理的研究,是我国空间科学的学科带头人,在国际同行中有较好的影响和声誉。

小调组的日地科学计划,将在本世纪内陆续发射 20 多颗日地科学卫星,进行日地系统的综合观测。这项庞大的计划将影响到下世纪初,会使日地科学的研究提高到一个新的阶段。太阳是日地系统的主要能源和扰动源,研究太阳活动及耀斑过程仍将是重点。提高太阳短波观测的分辨率和理解太阳大气中磁场、速度场的分布,将是挑战性的课题。日地科学研究的一个趋势是其侧重点向地球附近转移,即研究中高层大气的耦合,中高层大气与电离层的耦合等地球空间的过程。至于太阳活动与地球天气和气候之间的关系,这仍是困扰学术界的一个难题,预计必须在日地整体行为研究取得实质性进展后才能逐步地解决。日地系统整体行为研究将成为下个世纪研究的重点。

行星探测是研究太阳系及其演化的主要手段,月球和火星的载人探索可望成为下世纪前半叶人类空间活动的热点。建立月球天文台、空间物理实验室、月质学实验室及生命科学实验室具有重要的学术意义;同时,He<sup>3</sup> 作为聚变燃料,月面太阳能发电,以及利用月球矿产加工产品等也具有开发前景。探索火星历来受到地球人的重视,近来又成热点。研究火星大气及其变化,探索火星“古河床”的性质,寻找古河床附近的生物化石等等都是火星探索的课题。除去月球和火星探测外,木星的大气漩涡及内部结构,金星的火山爆发遗迹,土星环的特征,冥王星甲烷火山活动等行星结构和大气过程都密切地联系于太阳系的演化。太阳系其它行星做为与地球的类比,还有助于研究地球的起源与演化。

空间天文一直是各国空间科学的重点,它开辟了全波段和高分辨率天文观测的新时代,标志着天文学发展的新里程碑。高能天体物理一直是空间天文的重点。中子星的 X 射线源已被空间观测所证实,作为 X 射线的黑洞却有待于搜寻,这有可能解开占宇宙总质量 90% 的“丢失物质”之谜。γ 射线天文学已揭示了宇宙天体的高能态过程,可望会发现更多的 γ 射线源,包括爆发星系的高能源。

哈勃空间望远镜经过修复已达到了设计指标,使观测宇宙天体的距离增大了数量级,同时也使观测天体的空间分辨率提高了一个数量级。哈勃望远镜已经揭示出许多重大的天体物理现象,而且其重大发现将持续到下个世纪初。然后,可望在地球以外的空间部署比哈勃空间望远镜口径更大的空间光学望远镜。

天文学的发现取决于观测手段的提高。下个世

纪的空间天文观测不仅会重视 X 射线和 γ 射线等短波天文观测,而且会发展紫外、可见光以及红外天文望远镜,使空间分辨能力和谱分辨能力有成倍提高。同时,空间射电天文观测可以有比地基更大得多的基线尺度,也受到人们的关注。可以期望,由于空间观测的多波段和高分辨率,天文学的综合观测能力会有长足的进步,这必将使天体物理学产生重大的突破。

### 三、空间地球科学

地球作为太阳的一颗行星,与其它八大行星一样,是空间物理探测的对象。地球作为人类生存的环境,具有特殊的重要性。空间地球科学强调利用空间观测手段来研究地球过程,它不仅关注地球局部区域或者某些特定的局部过程,更着重于将地球作为一个行星,研究各个特定区域或过程之间的相互联系,研究地球整体变化的规律,预测地球环境的演变和发展。

地球科学是一门古老的学科,它的研究领域覆盖着从地球内部到地表和大气层,从地质、地理到地球物理、地球化学以及生物过程等诸多方面。从远古以来,人们就不断地研究地球科学的各个领域,并达到了相当成熟的阶段。人们的认识总是从局部区域、局部过程和较短时间尺度向全球整体行为,相互作用过程和较长时间尺度进展。近十年来,为了研究诸如温室效应、气候异常、生态变化、环境污染等紧迫的地球环境问题,促使了地球科学的整体行为研究。国际上促成了“全球变化”研究,“地球系统科学”研究,“地球行星使命”计划等。这些研究计划的支柱是空间对地观测和地基的全球环境研究,也是各国空间局的重要任务。空间对地观测提供了长期、全球性和高分辨能力的资料,这是卫星上天以前所不能实现的,也是研究全球变化的重要基础。九十年代的全球系统研究促进着地球科学的进展。

地球系统科学把地球看做是一颗行星,而着重研究行星尺度上的过程,预测几十年间地球环境的变化。为此需要研究地球的水、陆、气和生物系统,以及这些系统之间的相互作用和关系;需要采集充分的观测数据,分析和解释观测资料,建立概念和数值实验模式,以及验证模式并提供地球环境变化趋势的预测。由于地球系统的过程和参数甚多,利用大型计算机来建立模型是必不可少的;而建立预

测体系的基础是要有全球的观测系统和信息系统，积累不间断的综合观测数据。模型化研究，全球观测系统和信息系统三足鼎立地支撑着全球变化的探索。

太阳活动具有八年的周期，这个周期也影响着许多地球环境的变化过程。因此，连续地积累十八年的全球观测资料是十分重要的。另一方面，影响全球变化的过程很多，需要观测的量也很多，而一个过程又往往需要用多种仪器进行监测。因此，综合性地观测地球环境变化的关键量和过程是另一个重要的因素。美国宇航局提出了“地球观测系统(EOS)”计划，希望能尽早部署三颗太阳同步的极轨卫星；发展先进的空间对地观测仪器，诸如高分辨率光谱仪、多通道雷达、激光雷达、高级微波探测器等；可以进行多量长期观测，诸如测量高层大气化学成分和风，测量海面特性，太阳和地球的能量收支，植被，云的特性，矿物成分，大陆板块形变，大气过程等。“地球观测系统”计划将使空间对地观测的能力有大幅度的提高和改进，成为跨世纪的一项空间科学任务，使空间科学的研究热点更向地球科学倾斜。长期的连续观测对测量系统提出了更高的要求，传感器的标定要正确给出测量量的值、它们与过程之间的关系以及校正和调正产生的影响。

研究地球局部区域和过程所建立的资料库，对于研究地球的全球变化是不完整和不全面的。空间地球观测的数据量非常的大，使数据率极大地增加。因此，建立地球系统科学的信息系统，以及把大量的观测数据转化为地球科学的信息，这些问题已成为严重的挑战性课题。信息系统应能与用户计算机联网并提供多种信息，应能向用户提供人机对话的功能，应能方便地提供多种物理量的完整数据，应有及时和可靠的资料，甚至可以向在轨卫星上的仪器发出指令以观测必要的过程。显然，这样性能先进的信息系统的建立是一项艰巨而有挑战性的任务。但是，地球系统科学的复杂性和多变性确实需要这样的信息系统，否则不足以完成监测和预测全球环境变化的使命。

地球系统科学正在开创对地球进行综合性的全球观测和研究的新时代，它需要国际上的大力协同研究，需要空间观测的巨额经费。以预测地球环境变化为目标，地球系统科学不仅成为一项科学前沿任务，而且也是一项全球的政治任务，正在受到科学家和政治家的重视。

## 四、空间生命科学

空间生命科学研究地球以外空间环境中的生命现象，它包括生命起源和地外生命探索，空间医学和生理学，重力生物学，辐射生物学，空间生物技术的有关问题，以及载人航天所必须的生命支持系统的有关问题。

地球上的生命起源是由无机分子演化为有机分子，再演化为蛋白质和核酸等生物大分子和原始生物。60年代以来，主要利用射电望远镜发现和证明了几十种星际分子，其中大部分是有机分子。这些有机分子有可能为生物大分子的演化提供基元。通过陨落与地面上的陨石样品分析，发现了多种氨基酸，有些陨石中的氨基酸是在地球活细胞中存在的。这就为原始生物的演化提供了可能。地球外生命起源需要一定的演化环境，例如一定物理条件的行星系统。因此，用天文学的方法来探索生命起源的过程一直吸引着科学界的关注。近年来，不少国家致力于搜索地球以外的智能生物，向太阳系以外发射宇宙飞船，向宇宙空间发射电波，分析来自宇宙空间的讯息。地外生物学将是一个长期的研究课题，“火星人”和“宇宙人”等名词曾经和继续在吸引着人类社会的关注。外星人和地球人之间可能存在的学术和技术差距是学术界和整个社会关心的问题。

空间医学和生理学是随着载人航天的需要而发展起来的学科。当宇航员搭乘空间飞行器进入地球外空间时，飞行器中的重力环境，辐射环境，生物的节律以及生活和工作环境都与地面有很大的差别。人类生活在这种特殊的环境中，必然使器官和机体的生理功能发生变化，随之带来诸多的医学问题。经过30年的探索，宇航员在地球外空间工作和生活几周所带来的问题已基本解决；长期在地外空间生存会遇到宇航员骨质疏松、肌肉萎缩等空间生理学问题，还有待于解决。特别是人类下世纪的空间活动将要建立长期的空间站系统，重返月球，载人探索太阳系其它行星和卫星。这些任务都要求人们能够长期地在空间环境中生活和工作，给空间医学和生理学提出了挑战，一些中国学者正研究用中医和中药来攻克难题。与长期载人空间任务相联系的一个课题是建造一个不需要外界补给的自维持生态系统，使人们能在其中长期地生活和工作。这个任务正在攻关之中。

地球外层空间为研究重力生物学提供了理想的条件。重力生物学研究不同重力水平和方向对生物生长、发育和变异的影响,揭示重力在生物过程中的作用,是生物学的一个基本问题。重力生物学涉及到从分子生物学和细胞生物学等微观过程到形态学等宏观过程。目前的空间利用计划将在微重力环境中安置一台大型离心机,提供从微重力直到几个地球重力环境的实验条件,为研究不同重力条件对生物体的影响提供有力的手段。细胞生物学是一个热点课题,研究重力环境对哺乳动物细胞形态、结构、变异、基因表达的影响不仅是一个重要的学术问题,而且还有显著的应用前景。

重力生物学、辐射生物学以及空间生物科学和技术等研究都是载人航天的重要空间利用项目,它们既有重要的生物科学的学科价值,也有明显的应用意义。

## 五、微重力科学

微重力科学研究极低的重力环境中物质的运动规律,这种微重力环境出现在人造地球卫星、空间平台和空间站等空间飞行器中,在月球和火星天体表面的重力也比地球表面的重力低。所以,微重力环境是许多空间飞行器运行时的环境,也是探索月球和火星等任务时要遇到的环境,它是载人空间利用项目的主要内容。微重力科学将主要研究微重力环境中的流体物理、物理化学、生物科学和技术、材料科学以及若干基础的物理学问题,随着空间站时代的到来而受到重视。

微重力环境中许多被地球重力作用掩盖了的次级过程或难于观察的现象变得明显了,这就为发展相应的科学领域提供了新的机遇。等效性原理的卫星试验(STEP)计划将在下世纪初验证广义相对论的原理,近临界现象的诸多微重力实验将验证重整化群的理论,毛细现象和输运过程的实验已取得重大进展,微重力燃烧深刻地揭示了化学反应过程的规律,三维的无应力生物反应器培养出了与人类细胞和组织功能相近的生物体,空间晶体生长也取得重大进展。微重力科学在若干基本规律的研究上正在取得进展,可望会有重大突破。在今后一段时间

内,微重力科学将加强基本规律的研究,以期更好地理解微重力环境的性质。

空间飞行器的环境以及行星和月球开发的任务都含有大量微重力过程,诸如流体管理,火灾监测和预防,传热和传质等。这些问题都要求进行微重力研究。另一方面,人们从一开始就期望利用微重力环境中浮力对流和沉淀极大地减小等特点,在空间微重力条件下制备高性能的材料。空间电泳仪可以比地面的产量高出七、八百倍,空间蛋白质晶体生长获得比地面更好的单晶来进行结构分析,空间微重力环境中制备功能材料可望会获得更大、更均匀和更完整的产品。人们期待着早日取得商业化应用的成果,并憧憬着空间工业化的未来。在微重力应用方面的努力并非一帆风顺。人们逐渐发现,为了取得微重力应用的进展,还是先要加深对微重力基本规律的认识,加强微重力基本规律的研究。

人类正在进入空间站时代,正在准备重返月球。这些重大空间任务都要求发展微重力研究,同时也为微重力科学的进展提供了机遇。可以预计,微重力科学和应用在下个世纪必将取得突破性进展。

## 六、展望

空间科学在特定的环境中发展数学、物理学、化学、天文学、地球科学和生命科学等自然科学的基础学科,涉及当代科学的前沿,具有学术上的前沿性。空间科学的发展极大地依赖于空间观测、测量和实验,具有技术上的复杂性和先进性。因此,空间科学是综合性的大科学,它不仅揭示自然现象的诸多重大规律,而且还关注与人类生活密切相关,以及有可能转化为效益的各种重大问题。

应该指出,空间科学的进步可以促进空间应用的进展。空间通讯已实现商业化,空间遥感的商业化进程有赖于空间地球科学,空间材料加工的商业化应用需要微重力科学的进展。进一步,空间旅游、空间太阳能电站、空间移民以及空间产业化应用等目标可望能在下世纪逐步探讨,它们都要求空间科学以及航天高技术的支持。要使中国的空间科学在今后三、四十年内达到国际先进水平,将是一项艰巨的任务。

(责任编辑:许纯真)