

·学科进展与展望·

空间科学发展概况和发展前景

刘振兴*

(中国科学院空间科学与应用研究中心,北京 100080)

[摘要] 本文对空间科学的发展情况和前景作了概要论述。主要内容包括:(1)20世纪50年代以来空间科学的发展情况;(2)2002—2020年日地空间物理探测和研究的发展趋势和新的创举;(3)月球、行星、彗星和恒星际探测和研究的发展前景;(4)21世纪前20年我国空间科学的发展瞻望。

[关键词] 空间科学,空间应用,空间探测,发展瞻望

1957年10月第一颗人造卫星的发射成功,标志着人类活动进入空间的新纪元。利用空间飞行器在太空中进行探测和实验,极大地开拓了人类认识自然和宇宙的领域。空间探测和实验对空间知识创新、空间科学、空间技术及空间开发利用的创新和发展起着重要的作用。

1 空间科学的发展概况

空间科学是随着空间技术的发展迅速成长起来的一门新兴交叉学科。它包括:空间物理学、空间天文学、空间化学、微重力科学及与其相关的空间生命科学和空间材料科学。

1.1 空间物理学的发展概况

自人造卫星上天以来,首先是对空间中的物质状态及其形成和时空变化的物理过程进行探测和研究,从而迅速地发展了空间物理学。按目前的发展情况来看,空间物理学可分为两大部分:一是日地空间物理学;二是太阳行星空间物理学。

(1)日地空间物理学探测研究的进展情况

日地空间物理,又称日地物理学(Solar-Terrestrial Physics),其研究的空间范围包括:太阳上层大气、日地行星际空间、地球磁层、地球电离层和地球上空中层大气,后三者又称地球空间(Geospace)。按空间区域划分,又可分为:太阳上层大气物理、行星际物理、磁层物理、电离层物理和高中层大气物理。

由于人类居住在地球,太阳活动对人类活动和

生存环境有十分重要的影响。日地空间物理探测和研究具有重大的科学意义和应用价值。从科学方面来说,日地空间是一个理想的“天然物理实验室”,这里有人工方法难以实现的各种实验条件,诸如超真空、微重力、超洁净和强辐射等;存在着各种不同能量和密度的粒子及一些重要的物理现象和物理过程,包括:各种不稳定性及波动、磁场重联、反常输运、无碰撞激波、无碰撞等离子体边界层和湍流等,这些现象和物理过程在其他天体中大都会存在。空间物理研究对推动相关学科(如等离子体物理、磁流体力学、天文学等)的发展也起着重要作用。从应用方面来说,随着经济和社会的发展,地球空间已成为人类经济和军事活动的主要场所。各应用卫星,包括通信卫星、气象卫星、资源卫星、导航和定位卫星等都是地球空间中进行。地球空间环境直接受太阳活动的控制,经常发生一些爆发性活动,如磁层亚暴、磁暴、磁层粒子暴、电离层饱和热层暴等,可将这些“暴”统称为地球空间暴。这些爆发性事件可对各种飞行器、宇航员的安全及通信、导航和定位精度有重要影响,甚而使卫星系统失灵。据统计,由于空间环境引起的卫星故障,约占总故障数的三分之一。日地空间物理的探测和研究,可为保障空间活动的安全提供科学数据、科学依据和防护对策。

从40多年来日地空间物理的发展历程来看,大致可分为三个阶段:

(i)20世纪50年代至70年代中期的普查阶段

* 中国科学院院士。
本文于2002年4月1日收到。

在这期间,原苏联和美国发射了大量的卫星,对地球磁层和太阳风开展了普遍探测。这一阶段的主要进展是:在日地空间有一些重大的发现:发现了地球辐射带,证实了太阳风的存在,发现了太阳冕洞和日冕物质抛射;对地球磁层位形和结构有了大致的了解;对太阳风和行星际磁场的特性有初步的认识;根据观测数据提出了一些理论模型,如重联磁层模型和粘性磁层模型,辐射带理论,太阳风理论等。这一阶段的探测和研究成果,为以后日地空间物理学的发展建立了很好的基础。

(ii) 20世纪70年代中期至80年代中期的计划探测阶段

这期间,对地球空间进行了有计划、有目标的探测。国际上开始注意从各层的孤立研究发展到相邻层次的耦合研究,并开展了国际合作。在这一阶段,地球空间的探测计划主要有两个:一是1976—1979年实施的国际磁层研究(IMS)计划,该计划的主要目标是探测和研究太阳风与磁层的耦合过程。这个计划的主要贡献,是证实了向阳面磁层顶边界层稳态磁场重联的存在,发现了瞬时重联产生的通量传输事件,揭示了无碰撞激波的一些主要特性,联合探测到磁层亚暴的一些变化特性,并提出了几个磁层亚暴模型。这项计划推动了磁层物理研究的发展。

另一个是美国在1981年实施的动力学计划(DE),其主要目标是探测研究磁层、电离层和高中层大气间能量、质量和电耦合过程。DE计划取得了一些重要的科学探测数据,推动了极光区动力学及磁层-电离层-高中层大气之间动力学、光化学和电动力学耦合过程研究的发展。

(iii) 20世纪80年代中期至90年代中期的日地系统整体的探测和研究计划,结果提出了在1993年至1996年实施的国际日地物理(ISTP)计划。ISTP计划是一个空前规模的国际合作计划,由美国宇航局(NASA)、欧洲空间局(ESA)、日本空间和天文研究所(ISAS)和原苏联的空间物理所(IKI)组成的国际空局协调组(IACG)进行组织和协调。ISTP计划原来包括8组核心探测卫星和已发射的6颗辅助卫星,由于各种原因,最后只发射了6组核心卫星。该计划的总体目标是对日地系统连锁的物理过程有定量的了解。在这期间,与ISTP计划相配合的研究计划有:国际能量计划(STEP),地球空间环境建模计划(GEM)和1994年美国提出的空间天气计划。

20世纪90年代,是日地空间物理发展的一个重要阶段。ISTP计划的一个重要成果,是利用多颗

卫星联合观测到了日地系统连锁变化过程,提高了对日地系统整体变化的认识,使日地空间物理研究迈上了一个新的台阶。

(2) 太阳行星空间物理探测研究的进展情况

行星探测首先是从内行星(包括水星、金星和火星)开始的。自1961年以来,原苏联和美国先后发射了大量的飞行器对金星、火星和水星进行了探测,1976年海盗号飞船两次在火星表面登陆,获得了一些火星上是否存在生命的重要数据。从1989年以后,美国对火星探测更加重视。从1992年起,美国先后发射了几个火星探测器,主要目标是探测火星上是否存在生命,火星上是否有水体等。通过探测,至今已积累了一些内行星的探测数据,对这几颗行星的磁层、电离层、大气以及“地貌”和“地质”状态有了一定的了解。

外行星(包括木星、土星、天王星、海王星和冥王星)的探测是从1972年开始的。1972年和1973年发射了“先驱者(Pioneer)”10号和11号,并分别于1973年12月和1974年12月飞达木星,这是人类第一次对木星进行直接探测。1977年8月和9月分别发射了“旅行者(Voyager)”1号和2号,并分别于1979年3月和9月与木星相遇。“伽利略”飞船于1989年10月发射,目前仍在绕行探测。这几个飞船对木星磁层、电离层和大气以及木星的卫星与磁层的相互作用进行了探测,并取得了一些重要的结果,对木星空间环境有了一些新的认识。

第二步探测的外行星是土星。“先驱者”11号于1979年2月到达土星,“旅行者”1号和2号分别于1980年11月和1981年8月到达土星。1997年发射的“卡西尼(Cassini)”飞船将于2004年进入绕土星的轨道。前三艘飞船对土星的磁层、电离层和土星环特性进行了探测,对土星环境有一些新的认识。“旅行者”2号在飞越土星系统后继续向天王星运行,于1986年1月飞越天王星磁层,对天王星的场和粒子进行了探测,这是人类对天王星进行的首次探测。

海王星是“旅行者”2号探测外行星的最后一站。在1989年8月25日飞越海王星磁层,此后这个人造飞船便向着遥远的太空继续运行。据估计,它可能在21世纪前20年飞出太阳系,进入恒星际空间。到目前为止,太阳系中的9大行星,除冥王星外,其余8颗行星都用人造飞船进行了探测,为认识太阳系的起源和演化提供一些宝贵的资料。

1.2 空间天文学的进展概况

空间天文学是随着空间探测技术发展而迅速成长起来的一门新兴天文学科。载人卫星发射以前,主要是用地面望远镜和射电进行天文观测研究。由于地球大气的吸收,在地面上进行天文观测受到很大的限制。在地面上,进行天文观测的主要窗口是可见光、射电和远红外波段。利用人造卫星在地球大气外进行天文观测,开辟了空间天文全波段(从 γ 射线、X射线、紫外、可见光、红外、微波、直到射电波段)探测。近30多年来,国际上发射了大量的天文探测器,获得了大量新的探测数据,大大地开拓了人类认识宇宙视野,揭示了一些新的天文现象,迅速地发展了空间天文学。

20世纪90年代发射的哈勃望远镜,标志着天文望远镜进入一个新里程。根据哈勃望远镜最近观察的数据,科学家们认为:宇宙的年龄只有80亿年,这比教科书给出的宇宙年龄120亿—150亿年要短得多,甚至比银河系中一些恒星的年龄还要短。最近在航天飞机上对哈勃望远镜进行的改造,预计能进一步提高哈勃望远镜的性能。

1.3 空间微重力科学及空间生物学和空间材料的进展概况

微重力科学是在载人飞船、空间站和航天飞机发展的基础上发展起来的一门新兴交叉学科。在地面上用人工方法产生微重力环境是很困难的。近30年来,在载人飞船、空间站和航天飞机上进行了一些微重力、空间生物和空间材料的实验研究,并取得了一些重要的成果,推动了这一领域研究的发展。

1.4 空间化学发展概况

空间化学是在地球化学研究的基础上发展起来的,主要是分析研究太阳系中月球、行星和太阳系物质的化学特性。在月球化学研究方面,当前空间化学研究主要侧重在月球资源的调查和勘察,为开发利用月球资源做准备工作。在火星陨石和火星化学研究方面用遥感方法测量火星表面物质的成分。在太阳系物质研究方面,主要是研究太阳系外物质对太阳星云及其凝聚过程的影响。在宇宙尘研究方面,主要是利用南极冰层中的宇宙尘和外空采集的原始宇宙尘样品进行研究。

2 空间科学发展前景

2.1 空间物理学探测研究的发展前景

20世纪90年代末,国际上许多国家都制订了21世纪20年代前的空间物理研究和探测计划。美

国NASA提出的2000—2020年日地空间物理战略计划“太阳—地球联接(Solar—Earth Connection)计划”是有代表性的。该计划的主要研究内容分为三大方面:

(1)太阳变化的原因和过程,研究太阳内部动力学;太阳等离子体和磁场的相互作用;日冕和太阳风的起源和演化;太阳风与行星际介质的相互作用。

(2)地球和行星对太阳变化的响应过程,重点研究:太阳与地球空间环境的相互作用;地球空间环境和行星空间环境的比较研究;太阳变化对地球上生命的影响。

(3)太阳变化对人类的影响,重点研究:空间天气(空间环境变化)对空间活动、技术系统和人类生存的影响;太阳变化对地球大气变化的影响;生命起源;空间的宜居性。

2.2 卫星、行星探测和研究发展前景

21世纪,人类对空间探测将有一些新的创举。人类将在月球上建成有生命保障系统的月球基地;人类将登上火星,在火星上建立观测站,为开发利用火星作准备;飞出太阳系,对恒星际空间进行探测。

(1)建立月球基地

自美国在1969年7月—1972年12月执行了“阿波罗”(Apollo)载人登月计划后,月球探测沉寂了20多年。20世纪90年代以来,又兴起了重返月球的新高潮。月球是离地球最近的天体,是地球唯一的一颗天然卫星。21世纪,月球探测将发展到人类在月球上建立基地的阶段。

预期在2015年左右人类可在月球上建成第一个有生命保障系统的月球基地。

(2)人类将登上火星

20世纪90年代中期以来,国际上对火星探测又掀起一个新的高潮。火星探测的目标是:探寻火星是否存在或曾经存在过生命;火星表面是否存在过大面积的水体及对两极冰盖和地下水的估计;火星大气的形成、演化及天气和气候特征;火星磁层和电离层特征;火星表面的矿物,火星地质、地化和内部结构特性;探寻火星可能开发和利用的资源。

(3)水星和木星探测

计划在2002年发射水星轨道器。该探测器的科学目标是研究行星磁场的起源和性质,磁层的结构和动力学,磁层等离子与水星表土的相互作用,外层大气的来源和成分及水星表面成分,近太阳行星的生长及对太阳日冕和高能粒子的观测。

计划发射木星极轨道器。该探测器的科学目标

是:就地探测木星磁层的场和粒子;利用紫外和 X 射线波段成像测量极光的形态;利用近红外成像研究热层风;利用能量原子成像测量近磁层和中磁层的热粒子,研究辐射带与大气的相互作用。未来木星探测的重点是了解木星的卫星及其与木星磁层的相互作用。

(4) 开展行星空间环境比较研究

21 世纪的发展趋势是将太阳系行星系统(特别是类地行星)作为一个整体进行探测,对行星进行比较研究,主要目标是发展比较行星学。

2.3 彗星尘探测

发射星尘探测器的主要科学目标是:就地收集太阳系和其他星系中形成太阳系和行星的原始物质,并将它们带回到地面,利用显微镜和其他科学仪器对其进行原子水平上的分析研究;近距离拍照彗星图像,并用其他仪器探测研究彗星所需的其他数据;研究太阳及其行星的形成、地球上生命的起源和演化过程。

2.4 飞出太阳系探测恒星际空间

过去的深空探测器都是探测日球层(太阳系)内部,到目前为止,还未曾发射过恒星际探测器。虽然过去发射的“先驱者”10 和 11 号飞船及“旅行者”1 号和 2 号飞行器现已飞出太阳系,但不能对恒星际进行探测。像行星一样,太阳也有磁层,称为日球层。日球层的边界称为日球层顶,日球层顶是太阳风和恒星际等离子体的交界面。目前日球层顶的尺度还不确定,按最近的估计,太阳风流的终止激波可能在 80—90 个日地距离(AU),日球层顶比终止激波的距离还远一些。

21 世纪计划发射恒星际探测器,飞行器贴近木星和太阳到达 200AU 的距离。飞行器的速度是每年 10AU,到 200AU 大约需 20 年的时间,这是深空探测的一个新的里程碑。恒星际飞行器的主要科学目标是:确定恒星际空间的性质及其与银河系物质起源和演化的联系;探测日球层的结构及其与恒星际介质的相互作用;研究发生在日球层和恒星际介质中的基本物理过程。这些研究,对了解太阳系的起源和演化过程具有重大科学意义。

3 空间开发利用发展前景

空间科学的发展提高了人类对空间现象和规律的认识,从而推动了空间开发和利用的发展。空间开发利用已经给人类经济、社会、人民日常生活和国防建设产生了显著的效益。21 世纪,空间开发利用

将会更加迅速地发展。

3.1 应用卫星和卫星应用将会迈上一个新的台阶

预期 21 世纪的前 10 年期间,各种应用卫星,包括通信卫星、气象卫星、和导航定位卫星等将会发展成多卫星构成的星座,这将大大提高应用卫星的效益,将对经济、社会和国防的发展及人民生活水平的提高发挥更大的作用。

3.2 在空间中建立太阳能发电站

地球陆地和海洋中的能源是有限的,随着人类经济、社会发展对能源的需求,单靠地球内部的能源是不能维持的。地球空间将是人类向自然索取能源的主要场所,预期在近十年内可实现在空间中建立大型太阳能发电站(空间发电卫星)。在地球大气层外,太阳辐射不被大气和云层吸收,太阳能利用效率比地球上的利用效率大得多,而且太阳能是取之不尽和无污染的。空间发电站产生的大量电能,可通过微波形式传向地球各个区域。空间太阳能发电站,将会成为人类解决所需能源的主要途径之一。

3.3 发展空间产业

大型空间站的建立,为空间科学试验和各种新材料的研制开辟了新的途径。在大型空间站上,包括多个实验室,可进行微重力试验、空间生物试验和各种材料试验,并在此基础上研制新的生物材料、晶体和非晶体材料。在空间站上进行各种材料试验和研制,会推动材料科学的迅速发展。

4 2002—2020 年期间我国空间科学发展前景

2000 年 11 月发布的“中国航天白皮书”中明确提出,中国航天业的主要三大任务是:空间技术、空间利用和空间科学。这是我国首次在国家文件中将空间科学正式列入国家航天的主要任务之一。

4.1 空间物理探测和研究前景

在 21 世纪前 10 年,我国太空物理研究的战略主题是:日地空间系统的连锁变化过程和空间天气数值预报方法。主要研究目标是:深入了解日地空间连锁变化的物理过程,包括:太阳事件的产生及其在行星际空间的传播和演化过程;磁层空间暴对太阳活动和行星际扰动的响应过程;电离层和高中层大气对太阳活动、磁层空间暴和低层大气扰动的响应过程;发展比较行星环境研究;建立太空环境的动态模式,发展空间天气的数值预报方法。

2000—2020 年我国空间探测的战略思想和探测计划的设想是:在 21 世纪的前 15 年,重点是配合空

间物理研究的战略目标,发展日地空间探测和月球探测。初步提出的探测计划有:

(1)“地球空间双星探测计划”(简称双星计划)

双星计划包括两颗小卫星:一是近地赤道卫星,近地点时 500 km,远地点时 60 000 km,倾角是 28.5° ;另一颗是极区卫星,近地点 700 km,远地点 40 000 km,倾角 90° 。每颗卫星上放有 8 台探测器。这两颗小卫星相互配合,运行于目前国际上地球空间探测卫星尚未覆盖的近地空间主要活动区,形成了独成系统、有特色和创新的地球空间探测计划。其主要科学和应用目标是探测和研究近地空间环境中场和粒子的时空变化规律及磁层空间暴的触发机制,建立并发展太空环境的动态模型及物理预报方法,通过国际合作,提高我国空间探测技术和科学研究水平。双星计划与欧空局 Cluster II 的相配合,形成了六点探测的星座探测计划,将会成为 21 世纪初国际上重要的日地空间探测计划。双星计划的近地赤道区卫星计划在 2003 年 6 月发射,近地极区卫星计划在 2003 年底发射。

(2)“亚太合作小卫星探测计划”

这是颗亚太空间技术与应用多边合作多任务小卫星(SMMS),也是颗太空科学探测与技术试验小卫星。卫星轨道是高度为 796 km,倾角为 98.6° 的近圆形轨道。主要科学目标是探测和研究太阳活动和磁层扰动对电离层和中高层大气全球结构的影响。

(3)太空太阳望远镜

这是我国自行设计和研制的太阳望远镜项目,包括 5 台探测器。卫星的轨道参数是高度为 730 km,倾角为 98.3° 的圆轨。主要科学目标是:通过协同的、多波段的、高分辨率的和不间断的观测,探测太阳大气中磁流体力学和磁流体力学过程中瞬变

和稳态现象,实现太阳物理的重大突破。

(4)在上述探测计划实施的基础上,不断提高探测计划的科学目标和探测技术水平,提出在 2015 年前实施的日地空间探测计划。初步设想是:

磁层可视化探测计划。主要目标是提高磁层亚暴、磁暴和磁层粒子暴的预报水平;

太阳风—舷激波—磁层耦合的三星探测计划。主要目标是进一步了解行星际磁场、太阳风和磁鞘区扰动对地球空间暴发生和发展的定量关系。

4.2 我国月球探测和月球化学研究前景

现已初步提出了月球探测规划和近期月球探测计划的设想。绕月球轨道的月球探测计划预期能在第十一个五年计划初期实施。通过月球探测计划的预研和月球探测的月表物质化学成分的分析研究,可推动月球化学研究的发展。2015 年前后,我国可能实现月球软着陆计划,为开发利用月球建立基础。

4.3 我国微重力、空间生物和空间材料科学的发展前景

我国已建成了一个地面微重力塔,为开展微重力的实验研究提供了条件。载人飞船计划的实施,为微重力、空间生物和空间材料研究创造了有利的实验研究空间,预期能推动这一学科领域研究的发展。另外,通过国际合作,争取在国际空间站上开展这一领域的实验研究,这也是发展我国微重力、空间生物学和空间材料学的有效途径。

4.4 我国火星探测和研究前景

我国深空探测的重点是月球和火星。在月球探测基础上,计划开展火星探测。我国已在准备制定火星探测规划和计划,预期在 2015 年前后,可能会实施绕火星轨迹的火星探测计划。通过火星探测的预研,可推动比较行星学和火星化学研究的发展。

DEVELOPMENTAL STATE AND PROSPECTS OF SPACE SCIENCE

Liu Zhenxing

(Center for Space Science and Applied Research, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract The state and prospects of development of space sciences are briefly discussed. The main points include: (1) The developmental state of space sciences; (2) The developmental tendency of solar-earth space exploration and research during 2002—2020, as well as the new measures that will be taken in solar-earth detection; (3) The exploration of moon, planets, comets, and stars; (4) Comparative research of planetary environment; (5) The prospects of the projects and programs of Chinese space sciences during the first 20 years of 21th century.

Key words space science, space utilization, space exploration, development prospects