

日地系统整体行为和天文-空间- 地球科学的综合研究

胡 文 瑞

(力 学 研 究 所)

天文学和地球科学各自自成体系,已经发展了几千年。近二十年来,随着空间探索的巨大进展,形成了急速发展的新兴学科体系——空间科学。研究日地空间环境的性质,以及在空间环境中研究天文学、地球科学、生命科学、材料科学并发展相应的技术,这就是空间科学涉及的领域。正是由于空间科学和技术的进展,不仅形成了在天文学和地球科学中都处于学科前沿的空间天文学和空间地球科学,而且把日地系统联系成一个整体,定量地研究各种事件的因果关系。以空间为背景的高科技发展促使各国学者致力于天文学、空间科学和地球科学的综合研究。这种研究不但取得了科学上的杰出成就,而且发展了许多高技术,并为今后几十年将蓬勃发展的空间工业化奠定基础。

一、日地系统整体行为

太阳辐射以及太阳大气中的各种活动过程将能量传到太阳周围的日球空间。太阳外层大气的温度高达百万度,那里的热等离子体向外热膨胀形成太阳风。太阳风带着太阳磁场一起流入行星际空间,并与地磁场相互作用,形成地球磁层。由于地球重力场和磁场的影响,也由于太阳辐射和粒子传递的作用,地球附近的中性大气又构成对流层、平流层、中层和热层,由于电离效应而形成地球电离层。可以设想,来自太阳的能量、动量和质量制约着地球环境的形态和变化。研究这种联系的因果关系就是日地关系这门学科的内容,有时也称之为日地物理。当然,日地之间的联系不只涉及物理过程,也包含有化学过程、生物学过程等,因此往往被称为日地研究 (Solar-Terrestrial Research)。

日地系统由若干个分系统组成。首先是太阳,它是整个系统能量、动量和质量的主要来源。太阳辐射的微小变化可使地球气候和天气发生显著改变;太阳活动会扰动地球环境;太阳风的状态直接决定地球磁层的位形和变化。其次,所有这些太阳的输出量都是经过行星际空间才传到地球附近的。太阳与行星际介质的交接;行星际介质的大尺度和小尺度结构;太阳的瞬变事件在行星际空间的传播;太阳宇宙线及银河宇宙线在行星际空间的传播和调制,以及与此相关的基本物理过程构成了行星际动力学的主要内容。第三,磁层-电离层系统主要探索太阳风和行星际磁场与磁层的相互作用,以及磁层与电离层之间的能量、动量和质量的耦合关系,这种耦合中起主要作用的是电动力学和粒子传递过程。第四,地球中性大气延伸的范围覆盖着地球电离层的高度,电离层 E 区的大部分, F¹ 区, 以及 F² 区的主要部分都在热层 (90—500

公里高度)中。中性大气与电离层的电动力学及动量传递,以及上层大气本身的组分、能态,动力学和由此造成结构性的时间和空间变化就是热层中的重要问题。中层大气以及平流层中光化学过程决定着各种组分的分布,对地球环境有重要的影响。第五,对流层大气、地面的水圈、陆地圈,以及生物圈的相互作用,直接决定着人类的生存环境。近来,随着探索太阳系其他行星的工作取得越来越大的成就,人们将太阳—非地球行星系统与日地系统对比,开展了比较日地关系的研究。

日地系统与人们生活密切相关,科学家们一直在仔细地进行研究。日地系统中的每个分系统都独立地形成了一个或若干个学科方向,诸如太阳物理学,行星际介质动力学,磁层物理学,电离层物理学,大气物理学,大气化学,地球物理学,地球化学,海洋动力学,行星大气物理学等。而且,每个分系统所涉及的学科还会继续分化。同时,人们也日益感觉到,为了更深入地进行日地研究,必须把日地系统作为一个整体,来研究各个层次现象之间的相互关系。以及各种事件之间的因果关系。日地系统的结构和运动状态在时时刻刻地变化,既有周期的规律性,也有涨落的随机性,使得进行整体研究更为重要。一般认为,研究日地系统的整体行为是研究日地关系的核心。

日地环境直接影响着人类的生活环境。大量统计关系早已揭示,太阳活动的 11 年周期与地球的天气/气候及风暴、地震等灾害性事件有某种统计相关性。太阳活动低年常常使地球某些地区气候反常,农作物减产。多年来,人们对太阳上的大耀斑事件特别关心,它会引起磁暴和磁层亚暴,产生电离层骚扰而影响短波通讯系统,并且会使长距离输电及输油管系统充电。随着人类开发和利用空间的活动越来越频繁,监测和预报日地空间环境已成为一项必不可少的任务,就像航空事业离不开天气预报一样。为了准确地确定空间飞行器的位置,必须有实时的对流层和电离层数据。为了得到准确的空间飞行轨道,必须建立精确的全球重力场及高、中层大气模型。此外,风场、电磁场、电离度,以及结构的非均匀性都是日地环境监测的重要量。这些量决定着飞行的环境,也影响着电磁波,大能量脉冲,光束和粒子束在它里面传播的性能。对空间目标的定位和识别,建立自适应的通讯系统,以及各种空间防御和进攻武器的准确运转,都离不开对日地空间环境的监测和预报。人们发现,日地研究不仅具有重要的学科内容,涉及天文学和地球物理学的许多前沿课题,而且有越来越重要的社会效益,与人们的生活、生产及国防密切相关。

二、日地研究的发展趋势

太阳是日地系统之源。太阳的辐射,太阳的活动及太阳大气延伸出的太阳风和磁场,制约着地球空间的环境。人类对太阳的观测有悠久的历史,光学望远镜的观测记录也有几百年的资料。通过各种手段研究太阳大气的结构和变化无疑是日地研究中的重要问题。日地研究所以能形成全世界关注的科学前沿课题,应该说是与当代的空间科学和技术的发展分不开的。正是空间科学的发展促进了太阳物理的研究和地球物理的研究,同时使我们能把日地系统看成一个完整体系,并研究其细致的结构和分析各种事件的因果关系。

六十年代至七十年代初,美、苏分别发射了大量空间探测器,进行日地环境的普查。发现了地球附近的辐射带,具体地描绘了地球磁层的结构,证实了太阳风的存在,对太阳辐射以及

各个波段的能谱进行监测,取得许多重要成果。在应用方面,有几百个卫星测量了近地环境和地球环境。七十年代后期至八十年代,在进一步细致的空间探测基础上,大家更致力于开展相关性的综合探测。日地系统空间尺度大,时间变化繁杂,用多个飞行器进行相关探测显得特别重要。

既然日地研究关注系统的整体行为,地面观测台站就是不可缺少的。地面光学观测可取得太阳磁场和速度场的数据、单色像以及白光照片;地面的射电观测可提供太阳大气中的爆发事件的细节。地磁链的数据可用来反推全球的电流体系,电离层和中、高层大气的状态及其中扰动的传播更离不开地面观测。此外,大气、海洋以及陆地的观测多是在地面进行的。问题还在于要合理地布置地面、气球、火箭和空间飞行器的台、站、网、点观测,以获取相关过程的资料。

在大量数据和精细观测的基础上,发现了许多新的现象,从而促进了理论研究的发展。而进一步的观测和探测计划也需要理论的指导。人们把日地环境比喻为一个极好的空间等离子体实验室。七十年代,人们注意到利用卫星同时测量空间的电磁场、波动、粒子的成分和速度等量,或者用多波段同时观测太阳,从而认识到空间等离子体的许多结构特性。八十年代,人们又注意磁层中离子的加速和运动,以及太阳大气的精细结构从而认识到空间等离子体分布规律及其起源。相关的观测为研究太阳、日球和磁层结构,以及耀斑、磁层亚暴和磁暴提供了理论分析的依据。通过这些研究,促进了对太阳耀斑机制,太阳风加速过程,日球非均匀模型,无碰撞激波的理论,磁层顶的模型,磁层亚暴机制,地球极区的千米波辐射,场向电场的理论,电离层非均匀结构等一系列重大理论问题的认识。日地研究的重大突破要依赖于观测上的重大发现,但是,指导观测的计划和分析观测的结果都离不开好的理论。

日地研究是全球性的事业,它不仅需要理论与实测的密切配合,而且需要各种实测手段在广大的空间中进行长期而实时的探测。这种特点决定了日地研究更需要进行广泛的国际合作。大约一百年前,一些国家的学者发起了第一次国际极年计划,这可以看成是近代日地研究的首次国际合作计划。1932—1933年,第二次国际极年计划的深度和广度都比第一次计划有长足的进步。1957年组织的国际地球物理年(IGY)吸收了成千上万名科学家参加,动用了许多国家的地面台站网,发射了百余枚火箭,得到了大量的相关资料。在此以后,重大的国际合作计划一个接着一个。在1964—1965年有国际太阳低年(IQSY)计划,1976—1979年组织了国际磁层研究(IMS)计划,1979—1981年开展了国际峰年(SMY)计划,1982—1985年进行了中层大气计划(MAP)。现在,各国学者正在促进的还有世界电离层和热层研究(WITS),太阳第22周峰年的国际合作计划,以及原计划八十年代中开始而延期到八十年代末开始的国际日地物理(ISTP)计划。国际日地物理计划以美国、欧洲共同体和日本的卫星计划为主体,同时发射六个空间探测器和卫星组,进行太阳和太阳风、内磁层、环电流、中磁层、磁层边界区域及电流层的相关研究。这个计划是今后十年左右时间内日地研究的重大国际合作行动。此外,人们正在发起于九十年代开始国际地球生物圈计划(IGBP),将日地系统与生物圈合在一起,探讨全球环境的变化规律。

国际合作计划一个接着一个地提出,吸引了越来越多的国家和学者共同去完成,显示了一种趋势。这不仅因为探索日地系统的整体行为需要筹集大量的研究经费,而且因为这个问题本身就是全球性的,没有各国学者的共同努力是不可能完成的。我国辽阔的领域属于亚洲中低纬的要冲,这样的地理优势在全球环境的研究中有重要作用。我们应该和能够对日地研究

作出重要贡献。

三、天文-空间-地球科学的综合研究

日地研究把太阳、行星际空间、地球空间和地球本身作为一个整体,进行综合的研究,它是天文-空间-地球科学综合研究的重要课题,但也不能说就是最主要的内容。与天文学相结合,空间科学中形成了空间天文学;与地球科学相结合,形成了空间地球科学;在空间环境中制造新型材料,人及生物在空间环境的功能和状态,流体在空间环境中的特殊性能等等课题构成了微重力科学。随着人类迈入了空间时代,这些学科方向不仅具有重大的科学内容,而且包含着大量崭新的应用前景,正在越来越受到重视。我们不可能在近期内全面铺开许多方面的工作,但还应该有所侧重地选择某些重要领域,逐步地进行探索。

(一) 空间天文学

空间天文学是在地球稠密大气层以外进行空间测量和观测,以研究天文现象的一门学问。顾名思义,空间天文学要求把各种测试仪器用气球、火箭或者空间飞行器运载到空间去。由于地球稠密大气层对光波的吸收和散射,有些波段的天文观测不可能在地面进行,可观测的波段也会因大气的不均匀而影响到分辨率。六十年代以后,随着以人造卫星为主要运载手段的大量空间天文观测计划的问世,发现了许多极重要的天文现象,使空间天文学成为天文学中最活跃的前沿分支。

二十多年来,空间天文学的进展涉及到日地系统,行星探测,银河系结构,恒星物理,恒星际介质,河外星系,类星体以及活动星系核等各层次的天体现象,取得许多激动人心的成果。从波段上讲,形成了红外天文学,紫外天文学,X射线天文学,伽玛射线天文学等新兴的学科,给天文学注入了活力。就是在可见光波段,原计划于今年秋用航天飞机载入太空的空间望远镜具有2.4米直径的光学窗口,可使当今的天文观测距离和观测的分辨率精度提高一个数量级。正是由于空间天文学的重要性,不仅工业大国都投入了很多力量来发展卫星观测计划,而且许多第三世界国家也在积极地参与。印度计划于八十年代末发射X射线和伽玛射线卫星,阿根廷计划发射太阳观测卫星。我国的科学卫星计划看来应作统筹安排。

(二) 空间材料科学

火箭、卫星、天空实验室及空间站可创造微弱重力的环境,这时的物质不再因自身的重力而变形,不同密度和温度的物质也不再有各自亲合的倾向,物质不再需要容器来装置。这样的环境促成了微重力科学的形成和发展。空间材料科学是微重力科学的最重要组成部分,它可以由原料砂提炼出高纯度的晶体硅,可以从普通生物制剂中分离出贵重药品和化合物,可以造成高强度和热阻的合金及陶瓷。微重力条件下的材料加工不仅在科学上是重要的,而且有很好的商业前景和军事前途。

(三) 空间地球动力学。

空间地球动力学有时也叫天文地球动力学,它是把天体测量的一些新方法和技术用到地球或近地空间,进行高精度的距离测量。原则上,相距数千公里的距离,测量误差可以小至厘米的数量级。空间地球动力学是天文学、空间科学和地球科学互相结合的一门新兴学科。

测地是一门古老的科学,而近代科学的发展和技术的应⽤都要求极高的测量精度。在这种

背景下,用激光测量卫星距离的方法,用射电和光学干涉的方法,都用到测地学,由此而发展成激光测卫(SLR),甚长基线干涉(VLBI)等测试手段。利用这些高精度的测距方法,可以分析出地球的自转参数,提供地球板块每年仅只几厘米的移动距离,监测地球局部区域的畸变,测出地球重力场的精细结构。所有这些,对于研究地球物理学等地球科学,对于发展空间和地面的探测手段都是很重要的。不言而喻,它也具有重要的应用价值。

有一点要指出,空间地球动力学的成果在相当程度上依赖于布站的合理性。这里,开展有效的国际合作是重要的。

(四) 空间等离子体物理学

日地空间中的物质绝大多数处于等离子体状态,日地环境提供了研究等离子体物理的极好条件。而理解日地环境中的许多过程和开发、利用这个环境也需要深入地研究空间等离子体物理学。

从某种意义上讲,日地研究中从太阳一直到地球电离层的各种过程都可以看成是等离子体物理学的过程,各国都开展了大量研究。从应用的角度看,各种人为的物质与空间环境的等离子体相互作用的机理已经显得特别重要。

空间环境已经扩展为人们生活和生产活动的一部分。由于等离子体的不稳定性在电离层形成不规则结构,当地球与通讯卫星之间传送的电磁波穿过这些不均匀结构时会使讯号失真。这就需要研究电离层的结构,由不稳定性产生的不规则性的分布,以及电磁波与这种空间环境的相互作用。与此相类似,粒子束、光束(包括激光束)与空间等离子体环境的相互作用,也是非常重要的理论和应用课题。大量卫星和空间飞行器遨游在太空,各国进一步在发展空间站计划,这些活动使空间的飞行物体急剧增加,研究这些物体与空间环境的相互作用是另一个重要的课题。

随着空间活动日益频繁,深入研究空间等离子体物理的需要会日益迫切。

天文学和地球科学都有悠久的发展历史,年轻的空间科学迅速兴起,给了它们以新的活力,并将它们再次推到当代科学发展的前沿。天文学、空间科学和地球科学的综合发展与工程技术相结合,正在写出高技术发展的新篇章。

四、对我院发展战略设想的建议

今后一、二十年,人类将大举向空间进军。一个重要的标志是许多国家都要部署自己的空间站。苏联经过“礼炮号”的实验阶段已发展了更大的“和平号”。美国计划在九十年代中期部署极轨和同步轨道平台,并在考虑月球站计划。欧洲尤里卡空间计划,联邦德国和意大利的哥伦布站和日本的空间站也都在计划之中。人们在空间站上可以进行大量的工作,不少学者正在探讨空间工业化的计划。以空间科学为核心,带动天文学、地球科学、材料科学等高级科技的前景是光明的。地球空间已经成为人们生活 and 竞争的重要场所。中国科学院在发展我国空间科学及相关联的科学上负有主要责任,我们要与有关单位密切配合,为此作出贡献。

中国科学院集中了我国从事天文学、空间物理学和空间化学,大气科学和地球科学的主要研究力量。经过几十年的发展,在这些学科中都组成了有一定素质的研究队伍,配备了一些基本的实验和测试设备,做出了许多研究成果,在国际同行中也有一定的地位。几十年来,各门

学科按照自己的学科方向在发展,相互间的横向联系较少。近年来,随着国际上学科横向发展的趋势增强,我院不少同志也认识到,把有相互联系的学科组织起来,讨论共同的战略,建立密切的联系,有利于发展交叉学科,发挥科学院综合性和多学科的优势,是一个值得提倡的方向。天文-空间-地球科学综合性发展战略研究就是我院这种综合性和多学科的发展方向之一。克服各自学科和单学科研究所的封闭状况,推动有关研究力量的横向联系,是发展交叉学科迫切需要解决的问题。

天文-空间-地球科学综合发展的重大课题除了具有科学上的重要性之外,还具有显著的社会效益。在我们部署这些工作的战略安排时,要兼顾学科的理论研究和实际应用两个方面。不能把这种综合发展只局限于纯学术的理论成果,而不考虑这些理论的应用背景。同时,也不能只顾及重大的社会效益,在没有理论指导的前提下进行各种试验。在看清楚社会需要的前提下,统筹地安排研究与发展,就会使这种综合科学的工作顺利地持续下去。

天文-空间-地球科学综合发展涉及很广的领域,是一项耗资巨大的事业。当今的主要国家都把它列为重点的科学计划,像法国这样的国家每年投资都以数亿美元计,美、苏的耗资就更多了。作为一个发展中国家,我们部署力量时必须突出重点,逐步展开。在今后一段时间内,可以在开展日地研究的同时,进行空间材料科学、空间天文学、空间地球动力学和空间等离子体物理学的研究。通过与院外有关单位的合作和促进各种形式的国际联系,作出有我国特色的工作成绩。

要顺利地进行我院天文-空间-地球科学综合研究,除了在组织上协调好全院各有关学科的人力和物力外,还应该全面地规划和部署有关的观测台、站、网、点,统一地发展我们的地面,气球、火箭和卫星观测手段。尽快地筹建我国的日地环境资料和预报中心是有关各个学科的科学家多年共同呼吁的一件大事,若能落实下来必将对我国科学的发展产生非常有利的影响。航天工业部负责发展我国的航天技术,我院侧重于发展空间科学,空间科学的发展是与航天技术的发展密切相关的。两个部门应密切配合,共同努力完成发展我国空间事业的使命。在我院内部的安排上,需要选好几个重点发展的方向,把近期、中期和远期的部署协调好,争取在理论、实测、关键技术和社会效益方面取得一批成果。太阳活动的第 22 周峰年估计在 1991 年。峰年前后是研究日地系统的有利时机。我院有关的工作可以通过抓紧峰年的联合研究而带动起来,现在就需要着手安排。