

* 学科发展 *

空间天文学——当代科学前沿

艾国祥*

(北京天文台 北京 100080)

摘要 文中回顾了空间天文学的发展状况和主要特点,以及迄今所取得的巨大成就。在此基础上,作者探讨了中国空间天文学的发展问题,并提出空间太阳望远镜的计划。

关键词 空间天文学,太阳望远镜

1 空间天文学发展状况

空间——太空,是地球稠密大气层之外的范围(100—120 公里高度之外),是除陆地、海洋和大气层之外,人类的第四环境。空间——太空,是包括地球卫星、太阳系飞船、星际飞船等的活动范围。从一定意义上讲,空间天文活动包括气球和火箭,甚至包括机载天文仪器的探测。本文仅涉及航天器天文的活动范围,即第四环境中的天文探测。

1957 年至 1993 年 9 月 30 日,全世界成功的空间发射为 3 548 次,其中美国占 27.5%,前苏联和俄罗斯占 68%,日本占 1.3%,欧空局占 1.5%,中国占 0.9%;已发射航天器 4 500 余个,含多星发射,美国成功发射航天器 1 366 次,失败 159 次,占 11%,其中载人飞船 164 次,科学航天器占 19.13%,为 841 个。与天文学有关的大约 400—500 个(前苏联的难以全面统计),约占 10% 左右。笔者曾收集到,用于天文目的的航天器有 346 个,其中太阳和日球探测占 1/3,太阳系和行星、月球占 1/3,另 1/3 是对太阳系外天体的探测。

全世界航天方面,大概花费了 12 000 亿—15 000 亿美元(平均一次发射大概花 3 亿美元,一个航天器平均 2.5 亿美元)。估计与天文有关的开支,约为 1 200 亿—1 500 亿美元左右,占 10% 左右(美国至 1993 年实际开支 4 074 亿美元,若换算到 1993 年的等值数是 7 391 亿美元)。欧洲空间局在 1993 年的预算中,空间科学占 10.4%(不包括微重力与应用卫星),为 294 MAU(2 亿美元),这个预算不包括发射费用。欧洲空间局的空间科学项目中有 10 项,除一项地球物理卫星之外,其他 9 项都是空间天文项目。地基的天文设备,只有很少数投资能够达到 1 亿—3 亿美元,空间天文用航天器的平均投资为 2 亿—4 亿美元,而大型空间天文活动花

* 中国科学院院士
收稿日期:1996 年 8 月 8 日

几十亿美元的,已达几十次。30 多年来,空间天文设备的花费大约是地面天文设备的 10 倍左右。大型项目,如阿波罗(Appollo)登月计划、行星际探测站、紫外天文卫星(IUE)、红外天文卫星(IRAS)、宇宙微波背景辐射探测器(COBE)、天体测量卫星(Hipparcos)、空间望远镜(Hubble)、X 射线卫星(ROSAT)、 γ 射线卫星(GRO)以及太阳卫星(Yohkoh)等,都是耗资几亿甚至几十亿美元的项目。著名的哈勃空间望远镜,长 13 米,直径 4.3 米,主镜口径 2.4 米,总重 12.5 吨,研制历时 13 年,运行 5 年,耗资超过了 30 亿美元。它具有 0.1 角秒的成像分辨率,可观测比地面观测暗 40 倍的天体,使观测天体数增加数百倍;光谱范围有紫外、红外、可见光,集高新技术之大成,是空间天文发展史上的重大里程碑。

21 世纪初,超大型月基和空基的直径 10 米—16 米的光学望远镜、卫星群天文光学干涉仪、大型 γ 射线天文台等正在预研究。月基 16 米望远镜预计花费 50 亿—100 亿美元(2015 年建成)。笔者曾参加 COSPAR1993 年汉堡会议,随后又参加 IAU 海牙大会,深感天文学在空间科学中的突出地位(我估计为 50%),感到参加 COSPAR 大会的天文学家似乎可与参加 IAU 大会的人数相比,而且级别高、费用多,看来空间天文学成了天文学的主要领域。

2 空间天文学成了科技发展的前沿热点

2.1 空间天文观测的优势

天文学是一门依赖观测的科学,观测台址则是天文学发展的最重要基础之一。观测台址有过四次变迁:市中心(北京建国门古观象台、伦敦格林威治天文台)——远郊(基特峰天文台、兴隆天文站)——远山、远海(欧南台、夏威夷天文台、加纳利天文台)——太空。

天文观测走向太空,这是太空独有的最佳观测条件所决定的,也是天文学发展的内部动力所需要的。空间天文观测的优点是,全波段、全时段、全方位、无大气抖动和散射光、超长干涉基线。这些特点决定了天文观测向太空发展的必然趋势。与传统天文观测相比,航天器提供的不仅仅是观测,它还能游弋到行星际中去,实地采样和近距探测。

2.2 天文学的第三次大发展

一门科学的发展,有其内部的运行规律和发展动力(如到大气外去观测,无疑是一种必然的趋势),但是一门科学的发展,只有与社会发展的大需要结合之时,才会有突破性进展和辉煌成就出现。

天文学发展的动力有两条,其一是人类已有的认识与天文学无穷无尽未知世界之间的矛盾,推动人类不断去认识宇宙,这是天文学科长期存在和发展的基础;其二是社会发展的需要,这是天文学巨大发展的关键。历史上,天文学第一次辉煌的发展,是发达农业社会需要的结果,为了农业季节、历法以及记时的需要。我国古代天文学的辉煌成果,是第一次辉煌发展的典型代表。天文目标的神秘色彩,被统治阶级利用来维护其地位,天文现象常被用于预测重大政治事件和朝代的兴衰变迁,这对天文学获得重视和经费是有利的,但限制和束缚了对宇宙天体目标本质的科学研究。天文学的第二次辉煌,是从哥白尼——伽利略——牛顿——爱因斯坦关于日心说、望远镜、牛顿力学、相对论力学建立和发展之中出现的。在现代科技的创建中,天文学做出了巨大贡献。第二次突飞猛进,充分体现了天文学对现代自然科学的巨大贡献,并奠定了

发展的基础,也是冲破神学对天文学及对自然科学束缚的胜利。这一进展带有明显的政治和社会意义,例如日心说的斗争,因此为社会广泛关注。

天文学发展的第三次辉煌出现在第二次大战后,人类进入了空间科学技术的时代。在此期间,人类利用空间技术对于行星、地球、月亮、太阳、太阳系(行星及其卫星、彗星、小行星)、银河系及更为遥远的天体和宇宙,获得了大量崭新的知识和突破性进展。空间科技的产生,是伴随巨大的政治和军事的需要而发展起来的。天文学为这个发展做出了显著贡献,反过来又借助空间技术的发展,使天文学进入全波段天文学的时代,并构成第三次的辉煌发展。

2.3 天文学是空间科学技术发展的必要基础

天体力学为各种人造天体的轨道计算和设计,提供了理论基础和方法。天体测量对人造天体观测、确定其轨道、方位和距离,提供精确的时间。恒星准确的方位和自行知识,为星敏感器的制作,为人造天体的姿态控制提供依据。天体物理研究关于太阳系物理(流星、小行星、月亮、大行星、彗星)的知识,关于太阳物理(太阳辐射、爆发、太阳风)研究的成果,以及宇宙线的情况的了解,为人造天体以及宇航员提供了空间环境知识,并做出太阳活动的安全期预报等防护措施(空间天气学及预报)。太阳辐射的能谱为空间太阳能源的利用,以及航天器的热状况的设计提供依据。

天文学作为一门基础科学,它对社会的直接影响,自古至今都表现在对社会提供时间、历法和方位上。自近代史开始的 400 多年来,它对社会的影响,主要是科学的影响。二次大战之后,空间事业的出现和发展,是天文学作为基础科学,全方位的(天体力学、天体测量、天体物理)对社会的发展做出重大的贡献。可以毫不夸张地说,没有近代天文学,就不会有今天的航天科技及其应用。近代天文学是航天事业发展的重大而必要的基础。这也是一个基础科学一旦被运用,就能转化为巨大社会力量的生动实例。

2.4 空间天文是综合性、战略性交叉的科技事业

空间天文是集军事、空间技术、物理学、天文学以及政治五个方面的共同科学事业。物理学关于基本粒子性质与天体演化研究出现了新的汇合趋势。物理学的各种辐射与物质相互作用的理论,在全波段天文学发展中经受考验并得以发展。天文目标的多种多样性、对飞行器的多种奇特要求,均把技术能力运用到极限,促进了空间技术的发展,并为空间技术的应用打下了基础。天文学在空间科技发展中的独特作用,是其它基础学科所不具备的。二次大战后,空间科学成为一个国家强大的重要标志,空间天文学成了政治家和大众支持的科学热点。聪明的政治家和军事家无不利用这种公众的热情来推动其政治和军事发展目标。

3 空间天文学的巨大成就

空间天文学的成就概括为下列多方面:

- (1) 地球辐射带的发现和磁层的确立;
- (2) 太阳风的发现——日球的确立,行星际磁场的的确立;
- (3) 月球及近地行星、彗星性质的新发现;

- (4) 太阳耀斑认识的推进;
- (5) 宇宙微波背景辐射的证实, COBE 卫星有利于大爆炸学说;
- (6) 红外造父变星测量表明, 哈勃常数太大, 导致宇宙年龄太小, 小于一些恒星年龄, 将引起天体演化有关模型的修正;
- (7) 1987ASN, 膨胀云被拍出来(HST);
- (8) 原是大于质量 200M 的恒星被分辨开后, 实际是多星系统;
- (9) 发现许多红外星系光度非常高, 与类星体类似, 有利于发现原星系或尘埃星系的形成, 如 F10214+4742, 有 $3 \times 10^{14} L_{\odot}$ 和 $3 \times 10^{11} M_{\odot}$, 是至今最显著的红外源;
- (10) 发现高亮度红外源与相当部分的射电源相一致;
- (11) 发现织女星恒星外行星系统, 发现原星盘系统;
- (12) COBE 探测到宇宙背景辐射的不对称性, 并与黑体辐射有偏离;
- (13) Hipparcos 获得 1.5 毫秒位置和 1 毫弧秒/年的自行精度;
- (14) ROSAT, EUV 使源增加 400 倍, 有 60000X 射线源;
- (15) X 射线双星际, 黑洞存在的可能性, 低质量 X 射线双星的准周期振荡;
- (16) 发现 M87 星系中心周围有高达 200 万公里/秒的向心会聚速度, 可能是含有一个几十亿个太阳质量的黑洞。

4 中国空间天文学发展的探讨

4.1 中国天文工作者的历史责任

历史上, 中国科学和技术有过辉煌的成就, 为世界科技的发展做出过杰出的贡献。当前我国正在为摆脱 100 多年来的不发达状态, 为在下世纪中期发展成为世界第一流的社会主义强国而努力。毫无疑问, 在科学和技术上也应对世界做出新的贡献。就天文学而言, 由于当前主要发展趋势是空间天文学, 在这方面我国有其特殊的有利发展条件。在建设强大国家的进程中, 我国老一代政治家和科学家, 以超凡的胆略和魄力, 发展了我国的空间技术, 发射了中国的火箭和卫星。这是中国人引以为自豪的伟大成就, 将成为传世之宝。自推行改革开放政策以来, 对我国空间技术的应用, 包括军事、通讯、气象、资源、材料, 也都做出了积极的安排, 并取得了长足的进步, 中国成为空间大国。我国的空间技术, 是真正够得上“五强”地位的(美、俄、欧、中、日), 是在空间技术的综合实力方面具有世界先进水平的国家。在这个领域的建立过程中, 我国的天文工作者, 在轨道、观测、空间环境、时间技术等方面做出了应有的贡献。我国的天文工作者有责任在今后 10—15 年、15—30 年、30—50 年之内, 充分利用我国的空间技术条件, 有所作为, 积极发展空间天文学, 并促进空间技术发展。

4.2 空间技术、空间应用和空间科学的协调发展

我国空间科技的发展战略, 应该在继续加强空间技术(发射、卫星、通讯、控制和接收等)和空间应用(军事、通讯、资源、气象等)的同时, 把空间科学(天文、生命、微重力、空间物理)的发展提到议事日程上来, 并做出长远规划。历史经验、目前能力、国际上的发展趋势都表明, 忽略空间科学发展, 将不仅仅是影响其科学本身的现代化, 而且从长远观点看, 将严重影响和限制

空间技术和应用的发展(缺乏技术创新和技术储备,把很多的基础科研工作者隔离在外,智力就会短缺)。我国是世界空间大国,但又不是第一流空间大国。我们的空间技术多属仿制,创新性不足。经济实力不足之外,科学基础较薄弱,也是原因。目前,国内在卫星技术、卫星姿态控制和稳定性、探测分辨率、空间环境预测、轨道精度等方面均有待赶上世界水平,在一定程度上,与空间科学没有做出适当安排有关。空间科学与基础科学一样,好比植树造林,这是利在当代,造福子孙的大业。我们不妨想一想,在 20 年、30 年、50 年之后,当中国成为第一流的大国之时,当中国成为人类社会发展的主要动力之时,我们向谁去仿制呢!那就必须依靠基础研究,在空间技术上是依靠空间科学和空间天文学,从现在开始就要重视它们的协调发展。外国经费安排的情况,在空间技术、空间应用(包括军事)和空间科学上的比例大体是 4:4:2,我国理应做出调整,增加空间科学活动的投入,以保证长远的可持续发展。

4.3 对中国空间天文发展的建议

尽管我国空间天文有较好的发展条件,但这些条件并未完全得以利用,加上技术复杂、投资多、周期长、风险大,使得我国空间天文学的发展,呈现出非常困难的局面。因此,提出如下发展设想,以探讨中国空间天文学的发展。

(1)天文学的各分支的科学工作者,要更多关注空间天文学的发展,在自己所从事的领域内,提出有创新、有重大价值的课题,开展科学目标和方案性的预研究,藉以形成中国空间天文学发展的科学基础。这种小型的不花很多经费的探讨应有 5—10 项,形成储备和候选项目,等待机会——机会只给有准备的人。

(2)利用各种搭载和空间技术实验,尽可能作一些练习性,甚至独出心裁的小型实验,加强与空间技术部门的联合和合作,扩大影响,锻炼队伍。

(3)选择有重大影响的项目,形成有世界水平的国际影响,像日本的 X 射线天文计划那样,跻身于世界先进行列,甚至处于领先地位,使我国空间天文有大的显示度和影响。由于空间项目周期长,应尽快做出安排。

5 空间太阳望远镜

基于空间天文是天文学发展的主流方向,高分辨的太阳磁场研究是天体物理学的一个重要前沿。鉴于太阳活动对人类和空间环境的严重影响,应借助我国高水平的空间技术,并把我国科学卫星水平提到一个新的高度,特提出空间太阳望远镜:在 2001—2002 年(太阳第 23 周峰年)发射总重 2 吨的卫星,有效载荷 1.2 吨,太阳同步极轨,三轴稳定,姿态稳定度为 3—5 角秒,轨道高 700 公里左右,运行 3 年,由长征 4B 发射。有效载荷是主望远镜为口径 1 米的光学望远镜,带 16 通道二维同时光谱仪,附属 4 个软 X 射线望远镜、白光日冕仪和 $H\alpha$ 四个小望远镜。

5.1 主要目标

(1)通过实现高空间分辨率(0.1 角秒)和高时间分辨率的多层次的、太阳矢量磁场和速度场的观测,实现太阳物理研究的重大突破。

(2)空间环境的扰动来自太阳磁场的变化,即太阳耀斑、日冕物质抛射等。此项目重点是,耀斑及地球物理和空间环境效应;将在23周太阳活动峰年期间,为空间环境(空间天气)预报和人类灾害影响的研究的预报提供重要依据,并争取重大进展。

(3)使我国卫星技术及有关的高新技术提高到先进水平。如姿态控制达到3—5角秒水平,望远镜成像达到0.1角秒,软X射线达到0.5角秒等。

5.2 主要特色分析

(1)0.1角秒的成像分辨能力。几经努力,使哈勃望远镜实现了0.1角秒的成像分辨能力,这是光学波段的成像分辨率的一个里程碑,比地面条件下分辨率提高了一个数量级。哈勃望远镜天文成就很大一部分都来自这个被突破的性能。空间太阳望远镜的成像分辨率,比之哈勃望远镜,除要求达到0.1角秒之外,还有显著的进展,其一,是在太阳强光照射之下实现,这要克服较大的热不均匀性;其二,它是对偏振光进行探测,要求在信噪比为10 000:1的情况下实现。这两点在天文学的研究上有重要价值。0.1角秒的成像分辨率的突破也有重要应用价值,如对地侦察和观测时,当卫星高度为100公里—500公里时,其分辨能力为5厘米—25厘米,将有很大的实用价值。

0.1角秒的磁元探测能力,在天文上将是一项重要的突破,在宇宙电动力学的各种研究中,无疑将引起新的进展,这是许多国家都想要实现的大目标。

0.1角秒的成像分辨能力,将促使我国成像光学技术达到世界领先水平。

(2)Stokes参数轮廓的同时观测。以往的三大光谱仪(光栅、傅利叶和可调滤光器)在实现成像光谱探测时,都不是同时的,因此,只有相对低的时间和空间分辨率,对快速变化和爆发过程的探测无能为力。我们创新的两维同时光谱仪,是光谱仪发展史上的新里程,它能同时获得二维成像面上的磁场、速度场、温度、密度、电子密度、压力、元素丰度等众多物理量,对天文学发展有重大意义,并在其他领域预示着新的应用前景。历史上,光栅光谱仪就是一个太阳物理学家发明的,后来成为了光谱学的核心仪器。

5.3 把我国的卫星技术推向新的高度

(1)一个约2吨的科学卫星从整体来说是对我国卫星技术的新挑战、新发展。

(2)3—5角秒的三轴稳定姿态控制,将把我国卫星三轴稳定长期停留在6分(360角秒)的状态,提高两个以上数量级。过去之所以不能提高,是由于长期缺乏新的要求的结果。科学卫星的要求将起到促进作用。

(3)0.1角秒的可见光探测能力和0.25—0.5角秒的X光探测能力。

在21世纪,我国空间天文将达到世界领先水平,将提高我国科技现代化在国际上的显示度。我们期待我国的政治家和科技管理机关的决策者,能以极高的责任心、胆略和魄力,支持这个投资较大但适度的项目。尽管有困难,但有能力克服,我们期待这一意义重大的科学项目实现。