



空间科学 ——我国创新驱动发展的重要阵地*

文 / 吴 季

中国科学院国家空间科学中心 北京 100190

【摘 要】 文章概述了空间科学与空间科学卫星的特点,具体阐述了其在科学上的前沿性,在空间技术和相关高技术上的带动性,以及对国家政治、外交、国防和社会发展的作用,介绍了中科院正在实施的空间科学先导专项在科学前沿、技术带动和国际影响方面预计的成果产出,并对其后续发展提出了建议。

【关键词】 空间科学,空间技术,创新驱动

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2014.05.009

空间科学,顾名思义就是研究空间或者必需到空间去才能开展研究的科学。为了避免和传统的、地面上开展的天文观测混淆,空间科学的准确定义为:以空间飞行器为主要平台,研究发生在日地空间、行星际空间乃至整个宇宙空间的物理、天文、化学以及生命科学等自然现象及其规律的科学。

空间飞行器,就是离开地球表面进入高层大气、地球空间、太阳系深空的航天器。因此,空间科学需要空间技术的支撑,没有空间技术也就没有空间科学。1957年10月人类发射了第一颗人造地球卫星之后,空间科学才真正成为一门独立的,但交叉性也很强的前沿学科。

由于空间科学的探索性很强,对探测仪

器和空间飞行器技术不断提出新的要求,因此是空间技术发展的最主要的驱动源。而发展独立自主的空间技术,对一个国家来讲从来都是战略性的必争领域。独立自主的空间技术和成果对一个国家的政治、外交、国防、经济和社会发展都有重要的支撑和驱动发展的作用。本文将从空间科学在产生重大创新知识、带动空间及相关高技术发展和促进社会进步几个方面,阐述空间科学对我国创新驱动发展的重要作用。

1 空间科学是产生重大创新知识的科学前沿

一个不知道仰望星空的民族是没有希望的民族。古代人类,通过肉眼观看和思考

* 基金项目:中科院空间科学战略性先导科技专项(XDA04000000)
收稿日期:2014年8月20日

天象。伽利略发明了望远镜之后,人类开始利用望远镜研究宇宙。但是,天文学真正的发展,还是得益于空间技术。自1957年以来,人类对宇宙的认识突飞猛进。发射到太空中的天文望远镜如同再次打开了人类认识宇宙的一扇窗口,原来受到大气阻隔无法观测的电磁波段越来越多地在太空中使用,例如紫外波段、X射线波段。即使是可见光波段,由于大气的波动现象,当分辨率达到一定程度后,或者需要测量的光亮度的精度要求很高时,在地面上观测的精度就无法满足研究的需求。此外,低频射电波段由于受到电离层的阻隔,在地面上也无法观测。近年来,在电磁波之外,通过测量引力波观测宇宙成为新的窗口。当引力波的频率较低,需要观测的基线超出地球尺度时,空间观测也成为必需的途径。可以说,我们现在仍然处在不断开辟新的观测窗口的过程中。尽管如此,人类已经通过空间天文观测,测定了宇宙的尺度和年龄,发现了宇宙源于大爆炸并观测到了爆炸后极短时间内的宇宙图像,以及发现宇宙仍在加速膨胀等。更为奇特的是,人类发现宇宙中可以看见的物质只占整个宇宙中物质和能量的4%—5%。也就是说,我们现在所掌握的观测手段仍然非常有限,有很多物质和现象我们现在无法观测到。那如何才能完整地看清现在仍然被称为“暗”的能量和物质充斥着的宇宙呢?

量子科学目前被认为是经典物理学即将被突破的重大前沿。特别是处于纠缠态的两个量子,是否在被分别发送到大于类空间隔的距离后仍然处于纠缠态被认为是重大突破的象征。这样的实验必须到太空去做。与此相似的还有等效原理的验证,爱因斯坦广义相对论的验证等空间试验。这些实验中任何一个获得成功,都将对经典物理学产生颠覆性的震撼。

我们生活在太阳系中,太阳是我们赖以生存的万物之源。但是自从人类进入空间时代以后,才知道太阳的活动是如此的剧烈。在它的表面随时都可能发生剧烈的核爆炸,其当量比人类在地

面上进行的核试验要大数十万到百万倍。这些爆炸把大量的物质抛射出来,经过行星际当中的漂移和扩散,如果在它们传播的方向上正好能够遇到我们的地球,这些携带着磁场和能量的粒子云将会对地球产生重要的影响。地球的磁场将会出现很大的波动,在地球两极附近具有大尺度回路的电力网络和输油管线中将会产生巨大的感应电流,其可摧毁变压器和输油管网的设备。这些50年前不可想像的、关于我们生存空间的详细的知识,都是通过大量的空间观测得到的。人类进入空间才仅仅50多年,这之间才出现过4个完整的太阳峰年(每11年一个周期),我们怎能用这4个峰年的经验来判断太阳会不会出现更大的爆发呢?如果发生那样的事件,人类运行在太空中的上千颗卫星和大量的现代化的、依托卫星的地面技术设施将会承受什么样的打击?研究太空中粒子的分布和运动规律的空间物理学自1957年开始,由于有了空间就位的观测数据已经取得了长足的进步。研究太阳暴发对地球的影响已经成为一门越来越受人们关注的应用科学——空间天气学。

生命是地球上独特的现象,人类是地球上唯一具有智能的高级生命。但是,这一切在太阳系或者宇宙当中是唯一的吗?生命乃至人类离开地球还能繁衍和持续生存吗?至少到目前,经过50年的太阳系探索,人类仍然没有在地球以外发现任何生命现象,尽管水在太阳系当中是普遍存在的。20世纪90年代中期,人类通过地面观测,发现了第一颗太阳系以外的行星,但是这颗行星与地球非常不同,不可能维持我们公认的地球上的生命现象。那宇宙中是否存在和地球相似的行星呢?如果人类找不到自己的伙伴,将会持续地寻找下去,这不但是一个科学问题,实际上也是一个哲学问题。要想寻找地外生命,光靠地面上的观测是远远不够的。从另一个方面来讲,到目前为止所有在地面上推导出来和发现的物理原理和定律在太空中都得到了验证,也就是说它们是普适

的。当然在太空中还在不断发现一些由于重力的作用,从未在地球表面被发现的规律。但是与生命相关的规律和原理是否在太空中普适并没有得到充分的验证。因此,我们还无法回答生命或人类离开地球是否还能像在地球上一样繁衍和持续生存,以及外太空中如果有生命,他们是否遵从地球生命所遵从的定律。

1957年以来,除了预报天气,寻找资源,监测灾害以外,人类还利用地球观测卫星发现了地球两极出现了臭氧洞,影响气候变化的厄尔尼诺、拉尼娜现象等。从太空研究地球系统成为一门新的学科,称为空间地球科学。伴随着人类社会对气候的影响作用逐渐加大,空间地球科学正密切关注地球的5个圈层,岩石圈、大气圈、水圈、碳圈和生物圈的相互耦合问题。实际上人类社会活动已经大大改变了大气、水、碳和生物这4个相互耦合的圈层,作为岩石圈的重要变量:地震和火山活动,由于人口增长迅速,也与人类社会越来越紧密地联系了起来。

以上可以看出,空间科学的几个主要分支领域:空间天文、基于空间实验的基础物理、空间太阳物理、空间物理、微重力和空间生命科学,以及空间地球科学所面临和研究的内容都是极为重大的科学前沿。任何重大突破,都会对人类认识自然、完善与自然的和谐关系带来巨大的进步。爱因斯坦曾经预言,自然科学的前沿将逐渐向宏观和微观两个前沿转移。目前空间科学的研究正是既瞄准宏观的太空和宇宙,又瞄准微观的粒子和生命起源。因此可以说,空间科学是产生重大科学突破的前沿科学。

对我国而言,经济社会发展正在呼唤重大科技创新。科学前沿的重大突破将预示着中国在基础研究领域进入国际领先行列。最先掌握前沿领域突破的国家,必将在

重大基础理论的应用方面走在前列。这将带动多个应用领域的快速发展和变革,驱动整个经济和社会快速向前发展。

2 空间科学是带动空间技术及相关高技术发展的最主要动力源

空间科学以探索 and 发现为目标,必须获得前人未曾获得的数据和结果才能做出科学突破。这一性质决定了空间科学卫星计划不能重复前人的结果,必须在技术上有一个方面,或者多方面的创新。

2.1 轨道

很多探索性质的科学计划需要设计新的轨道,以使探测仪器飞行到前人没有飞行到的地点。由近及远,让我们首先谈谈地球轨道中的科学卫星所选择的轨道为什么对空间技术有带动作用。

1997年中科院刘振兴院士等人提出要通过两颗轨道面相互垂直的大椭圆轨道卫星探测地球磁层,称为“双星计划”。这个计划仅在轨道的特殊性方面就为中国航天创造了三个第一次。首先,其中赤道轨道卫星的远地点要求达到8万公里,是当时我国打的最高的卫星,实现了测控距离的突破;其次由于两颗卫星的探测需要相互配合,也即当一颗星的远地点位于地球极区上空时,另一颗星的远地点要求位于日地连线附近或磁尾区域。因此两颗卫星的发射时间必须严格计算,发射窗口很窄。而由于和我们两颗卫星配合探测的欧空局4颗卫星已经发射,如果要联合探测,也需要我们零窗口发射,也就是发射时间必须准确到秒。这在中国航天当时也是没有做过的;最后,由于在大椭圆轨道上运行的卫星和地面站的距离变化大。如果将数据下传的速率按远地点设计,则在近地点附近速率就显得太慢,如果按近地点设计,到远地点时信号又太弱,



中国科学院

地面站收不到。工程实施的是变速率的数据传输方案。这也是中国第一次采用。一颗科学卫星,仅仅轨道的变化,就对空间技术的发展带来了如此多的带动。

走出地球的引力场,进入太阳系深空探索地外生命,是人类进入太空时代最想做的事情之一。截至目前,人类已经发射了超过100颗深空探测器。1990年之后,人们逐渐认识到,进入太阳系的轨道不但可以借助其他行星天体的引力使飞行器改变速度,从而节省燃料,还由此从数学上发现了,各个行星引力场之间都存在有引力平衡点,如果使飞行器飞行到该点,即使用很少的燃料甚至不用燃料,就可将飞行器从一个天体的引力场转移到另一个天体的引力场,这种巧妙利用引力场之间关系的飞行通道被称为星际高速通道。如果没有太阳系行星探索,就不会有这样的技术进步。

目前人类飞行最远的航天器是美国1977年发射的2个旅行者号探测器。目前已经飞行了30多年,距离太阳已经超过110个天文单位(一个天文单位等于地球到太阳的平均距离),达到了太阳系和星际物质交互的地带。这个科学计划不仅对空间技术具有巨大的带动作用,其社会影响也是不容忽视的。

科学计划还对多颗卫星编队飞行提出了需求。精确测量在一个圆形近地地球轨道面前后飞行的两颗卫星的距离,可以反演出地球引力场的变化。将多颗卫星编队飞行在一个圆轨道上,如果其距离经过优化可以两两组成均匀分布的基线覆盖的话,绕轨道半圈后,即可在轨道面的法线方向上实现2维的空间频率域的覆盖,获得大孔径的低频射电成像。这一方案最近被建议用于月球轨道,绘制银河系的低频射电背景图像。因为在卫星处于月球背面时,可以获得不受地球人为产生的无线电信号干扰的非常安静的低频射电自然环境。

2.2 卫星设计

如果没有特别的需求,卫星制造企业一般都

希望将卫星的设计尽量固化,形成型谱化的平台系列,共用的分系统。这无疑将提高生产效率、降低成本,并提升质量、降低故障率。例如大量的应用卫星平台都是型谱化的。这样的技术路线固然没错的,但是一个卫星制造企业如果总是走型谱化的道路,它的研制能力就会逐渐减弱,变成地道的生产型企业。空间技术的进步需要不断创新,而创新的动力就来自于用户的特殊需求。

科学卫星就是这样一种卫星。它基于探索和发现的目的,对卫星设计需求很少是重复的,总是提出新的要求。有时甚至必须单独设计和定制。一个典型的例子就是美国航空航天局在20世纪90年代初发射的哈勃太空望远镜。这个望远镜本身很大,如果将其放在一个大平台上,则总高度就会太高,无法装在运载火箭的整流罩内。为此,卫星平台的设计只好拆开,围绕望远镜将各个分系统布局在望远镜周围。最终使得这个科学卫星看上去几乎就是一个圆筒望远镜的外形,看不到卫星平台本身了。另一个生动的例子就是我国正在研制的暗物质探测卫星。这个卫星总重1800公斤,而暗物质探测器就重1400公斤,又是一个卫星围绕载荷设计的例子。卫星平台巧妙地利用了探测器的结构,仅仅增加了舱板,将分系统安装在舱板上,舱板再固定在探测器的主结构的空当处。这也是我国第一颗没有利用现有卫星平台,围绕载荷设计的科学卫星。

科学卫星对卫星平台的技术带动还体现在大型天线,深空非太阳能能源(如核动力驱动、太阳帆动力驱动),高时空基准和精密测轨,高指向精度和姿态稳定度,地外着陆和就地挖掘及质谱分析,大数据量数传等。当然这些需求并不是都体现在一次任务中。但是可以肯定,每次科学任务必然会提出新的需求,迫使卫星研制企业思考和提出解决方案。这个过程是对空间技术的最好的驱动。

2.3 与科学探测仪器相关的技术

科学卫星上的探测仪器统称为科学载荷。它

们是获取新的科学数据的“尖兵”，必须具有特殊的能力。但是这并不表明它们不能重复，比如一台很独特的科学载荷，在用于月球探测之后，还可能被用于火星。这是因为使用环境变了，仍然可以获得新的科学数据。但是他们必须具备一点独特的品质，那就是世界第一。可以想像，一个不如别人好的，还用在了别人用过的环境下的仪器，获取的数据一定是没有科学价值的。

科学仪器的进步对技术的带动是巨大的，而且不仅仅是对空间技术的带动。哈勃太空望远镜是第一个使用CCD成像的。这项技术经过转移，目前已经渗透到我们的日常生活中。测量空间磁场的仪器是世界上精度最高、最轻小型的磁强计，它在地面上已经有很多应用。而手机上的磁场测量线圈就是汲取了空间用磁强计的技术精华。再比如，笔记本电脑是为航天飞机上的科学家设计的，逐渐成为大众产品。空间科学仪器普遍要求精度高、体积小、性能稳定，因此其技术可以普遍用于地面，并带动地面仪器和民用设备生产技术向高精度、轻小型化发展。

因此，空间科学是带动空间技术及其他相关高技术发展的重要原动力。

3 空间科学对促进社会进步和发展有不可替代的重要作用

一个大国，特别是像中国这样的大国，为了保障其和平发展，必须具备强大的国防力量，形成政治上的威慑力，让那些挑衅者望而生畏。正如邓小平同志讲的，如果我们国家没有“两弹一星”，就不能叫有影响力的大国。但是，看一看俄罗斯和美国，在军事航天之外，它们在空间科学上也创造了许多人类第一次。比如第一次探测月球、第一次着陆金星、第一次着陆火星等。前不久美国

实施的深度撞击科学探测计划，将探测器发射到太阳系当中去，并精确地撞击一颗小行星，然后跟随探测器再观测撞击后溅起的尘埃。欧空局在和美国联合的土星探测计划中首次将人类的探测器降落到土卫六上，这也是人类着陆探测的距离地球最远的天体。他们以科学的名义，高举着和平利用空间的旗帜，展示着大国的实力，形成政治威慑力。

处于冷战后时代，高举科学的大旗成为主流意识。因此发展空间科学成为稳固国防安全，展示大国实力的新的形式。我们是否已经意识到这个变化？至少我们对空间科学计划的重视还不够，还没有意识到它在展示大国政治威慑力方面的不可替代的作用。

空间科学同样也是外交与国际合作的主要阵地之一。当我们与发达国家开展高技术层面的交流，特别是在涉及双重应用的空间技术领域进行交流时，往往受到阻碍。但是在空间科学领域，交流往往能够实现。这是因为，空间科学探索不接受重复，只有第一，没有第二。不重复别人的工作成为遴选项目时的首要标准。因此从战略规划阶段开始就需要交流。其次因为科学家的需求是无限的，而政府的投入是有限的，合作可以降低投入。探测数据总是要公开的，与其自己做不如大家联合做。第三，科学计划之间的合作往往能够达到 $1+1>2$ 的效果。即使计划都是各自的，如果将两个计划相互协调，如中国的“双星探测计划”和欧洲的“星簇计划”开展的联合探测，其效果是可以达到倍增的。

空间科学在外交上的作用，有时是意想不到的。冷战时期，苏联曾利用其空间优势，为欧洲很多国家搭载了大量科学仪器，缓解了东西方的对峙，使得俄罗斯空间科学



中国科学院

界的声望和优势保持至今。

由于空间科学对空间技术的带动作用,很多国家(或地区)将发展空间科学作为发展空间技术的掩护或者跳板。由于“二战”的原因,日本在发展与军工国防密切相关的空间技术方面非常谨慎。其第一颗人造卫星是由东京大学空间科学研究所研制的。直到20世纪90年代,日本才脱去了科学掩护的外衣,公开展发展军事侦察卫星。我国的台湾地区,也是以科学探测的名义开始发展卫星和运载火箭技术。虽然“华卫一号”是科学卫星,“华卫二号”就变为以科学卫星为掩护的侦查卫星。不言而喻的是,和平时期搞科学卫星的大量技术人员,到了战时,全部力量都可以很快地转到国防空间技术领域。因此,科学卫星是一个很好的寓军于民的科学和技术领域。欧洲空间局的章程规定只能从事和平利用空间的活动,但是同时指出,欧空局的使命是发展欧洲的航天工业。

载人航天、深空探测都具有极高的公众关注度,这里不用展开论述。另一个便于宣传,公众关注度高的领域就是科学卫星计划。科学卫星从立项开始就可以适度地进行公开宣传。到卫星发射时,特别是获得初步的探测结果时,可以开展广泛的科普宣传,吸引公众关注,达到科学普及的作用。由于我国目前除了“双星计划”之外,还没有固定的空间科学计划,因此这一重要科普领域还没有显示出它的优势。

4 发展建议

2010年3月31日,国务院常务会议确定由中科院牵头实施“空间科学先导专项”。在之后的3年里,中科院牵头对5个科学卫星计划进行了综合论证。到2012年底,其中4个科学卫星先后进入工程研制阶段。它们是硬X射线望远镜计划、量子科学卫星计划、暗物质探测卫星计划以及实践10号返回式科学卫星计划。与此同时8个新的科学卫星计划被遴选出来,陆续进入背景型号预研,重点突破关键技术,等待“十三五”的工程立项。

“空间科学先导专项”是我国迄今为止最大规

模的科学卫星计划。有望在宇宙黑洞探测,量子科学中极其重要的贝尔不等式验证,暗物质粒子碰撞后产生的极高能电子的探测及其在银河系中的分布,以及空间微重力和生命科学领域取得重要的科学突破。

此外,“空间科学先导专项”将为我国空间技术注入新的活力。特别是正在背景型号阶段的8个新的计划,对空间技术提出了很多新的需求,比如脱离黄道面的太阳极轨轨道,必须围绕大型望远镜设计的卫星平台,深空能源系统,毫米波大型可展开天线,高精度星地时间比对,高精度姿态控制等。在探测载荷方面,新的计划正在突破的关键技术包括:聚焦型X射线望远镜、大视场日冕仪、干涉式射电成像仪、中性原子成像仪、长焦型心定位光学望远镜、高灵敏度大视场X射线成像仪等。

“空间科学先导专项”也是对外开放的科学计划,有10多个国家参加了先导专项在研卫星的工作,并将参与数据分析。8个背景型号有7个已经召开了专题的国际研讨会,剩下的1个也将在2014年年底召开。此外,在“双星计划”之后,欧洲空间局决定和中国再次紧密合作,共同研制和发射一颗小型科学卫星。国际合作的大好局面已经初步形成。

但是,基于我国的空间计划大多是“一事一议”的传统,“空间科学先导专项”批准的卫星计划也是阶段性的。到2015年,我们面临需要再次争取国家经费支持的局面。也即目前“先导专项”还不是一个持续性的科学卫星计划,而仅仅是针对“十二五”的。因此,我们建议尽快将空间科学系列卫星纳入国家持续支持的科技预算中,使得空间科学作为我国创新驱动发展的一个重要阵地,更好地、持续地发挥它的重要作用。

参考文献

- 1 中国科学院空间领域战略研究组. 中国至2050年空间科技发展路线图. 北京:科学出版社,2009.
- 2 Guo H D, Wu J. Space Science & Technology in China: A Road-

- map to 2050. Beijing: Science Press, 2009.
- 3 吴季. 试论开展空间科学卫星与探测计划的国家需求. 中国科学院院刊, 2008, 23(6): 492-497.
- 4 刘书雷, 郭继周. 科技创新发展与战略选择. 长沙: 国防科技大学出版社, 2014.
- 5 罗格·博奈. 李磊译. 国际空间合作. 北京: 科学出版社, 2014.

Space Science as An Important Driving Momentum toward Nation's Independent Innovation Development

Wu Ji

(National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract Starting with its definition and objective of space science, the article presents the important functions of space science in its frontier characteristics for fundamental research, its driving momentum for space technology and other related high technologies, and its impact on nation's politics, diplomacy, defense, and social developments. The Strategic Priority Program on Space Science carried out by Chinese Academy of Sciences is also introduced in these circumstances to show its impact on China as a driving force toward independent innovation for the country.

Keywords space science, space technology, innovation development

吴季 中科院国家空间科学中心主任, 研究员, 中国空间科学学会副理事长, 国防科工局科技委航天领域专家, 国际空间研究委员会(COSPAR)副主席, 国际宇航科学院(IAA)院士, 中科院“空间科学先导专项”负责人, “嫦娥1、2、3号”科学探测有效载荷总指挥。主要研究领域包括: 微波遥感技术、空间探测技术, 以及空间科学与技术发展政策研究。
E-mail: wuji@nssc.ac.cn



中国科学院