

中国的空间探测及其科学内涵

吴 季

(中国科学院空间科学与应用研究中心,北京 100190)

[摘要] 文章回顾了人类探索空间的历史,特别是中国人对空间的探索历史;并分析了自人类进入空间时代以后探索空间的历程。通过对这一系列活动的分析,探讨了人类在空间探测活动中的动机及其科学内涵,进而对中国今后空间探测活动的战略科学目标展开讨论,并简要介绍了中国4个空间探测计划及其科学目标。

[关键词] 中国空间探测;中俄火星联合探测计划;夸父计划;磁层-电离层-热层探测计划;太阳极轨射电望远镜计划

[中图分类号] V1;G322.21 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2008)06-0023-05

1 人类探索空间的历史

人类诞生至今已超过百万年。进入智人时代以后,也已经有了数千年的文字历史。在这些历史记载中,有许多对神秘太空的诠释和探讨,突出表现了人类作为一种高智能的动物对自己生存环境的关切。因为除了生存的地球之外,人类头顶上还有一片深广的太空。它承载着日月星辰,周而复始地运转着,神秘莫测。

太阳是万物之源,人类对它既崇拜又惧怕。中国古代曾有后羿射日的神话,将烈日带来的干燥和高温用10个太阳来比喻。也许是为了比较好处理,由后羿射落了9个,这样,太阳就成为万物赖以生存并带来温暖的生命之源。这里面其实包含着人类期望与太阳共存的理念。这一理念在20世纪末被美国科学家提炼为“与日共存(living with a star)”,并成为观测和研究日地关系(如图1所示)重大科学计划的名称。21世纪初,这一计划已经上升为一个有20多个国家参与的国际性的联合观测计划^[1]。

中国古代对太阳的观测和研究很早就开始了,公元前28年,中国最早出现了对太阳黑子的观测记录,到17世纪曾经有过112次记录^[2]。2001年,在

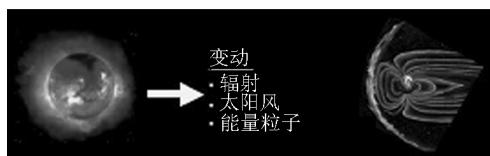


图1 国际与日共存(ILWS)计划日地关系图

Fig. 1 International Living With a Star program

四川成都市郊金沙遗址,出土了距今约3000年的太阳神鸟金箔饰品^[3]。奇妙的是该图案不但将太阳作为万物之源供奉其中,太阳的12道光芒竟然是旋转射出的,这同目前现代科学所知的太阳磁场和太阳风旋转射出的事实竟然完全一致(如图2所示)。在古代,中国人是如何观测到黑子和太阳爆发的?其实不难想象,因为自然界中存在大量的深色透明物体,如琥珀等,将其打磨成平面镜即可观测太阳,此外,在日全食发生时,也可以观测到日冕物质的抛射现象。

人类对太空探索的成就,最伟大的莫过于哥白尼在1543年发表天体运行论时确立的日心学说,以及由伽利略确立的现代天文观测方法^[4]。这一突破,使人类彻底摆脱了愚昧,进入到了空间科学观测的时代。此后的大量观测和发现都是对日心说和太阳系观测的进一步补充和修正。

[收稿日期] 2008-02-17

[作者简介] 吴季(1958-),男,重庆市人,中国科学院空间科学与应用研究中心研究员,目前主要从事微波成像探测技术与空间科学与探测卫星计划项目管理等

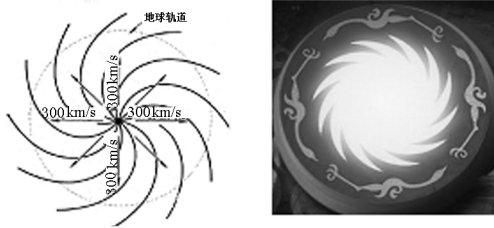


图2 成都金沙遗址出土的太阳神鸟图案
与行星磁场的扇形结构的相似点

Fig.2 Similarity between modern solar wind spinning output and the sun bird pattern 3000 years ago excavated in Chengdu, China

19世纪俄罗斯科学家,后来被誉为“人类航天之父”的齐奥尔科夫斯基曾说过:“地球是人类的摇篮,但是人类不能永远生活在摇篮里……”1957年,人类的第一颗人造卫星升入太空,标志着一个新的时代——人类太空时代——的来临。

在此后一系列的空间探索活动中,由于冷战政治因素的原因,大量对太空探索的“第一次”被前苏联和美国所占有。比如,第一次载人飞行、第一次飞向月球、第一次对月球背面拍照、第一次探测金星、第一次探测火星、第一次探测木星、第一次探测土星、第一次着陆金星、第一次着陆火星、第一次着陆土卫六、……。所有这些“第一次”,除了美国的华裔科学家,中国人在其中几乎没有贡献。

中国的第一颗人造地球卫星东方红1号于1970年4月24日发射。此后,中国发射了实践1号、实践2号、实践4号和实践5号科学探测卫星,2003年10月15日首次实现了载人飞行,2003年12月30日和2004年7月25日分别发射了探测1号和探测2号卫星,组成了地球双星探测计划。双星探测计划也是中国第一次以科学目标牵引,从轨道设计、载荷配置开始经过充分论证的科学探测计划,并和欧空局的星簇计划合作,形成了人类第一次对地球空间的六点联合探测,目前已取得大量新的发现和成果。2007年10月24日,中国首次成功实施了月球探测计划,开始成为国际深空探测俱乐部中的一员。从中国进入空间和开展空间探测的步伐来看,虽然在历史上为人类的太空探索作出过重要贡献,但是到了近现代却落后了,与国际上先进的国家,如美国、俄罗斯和欧洲的空间探测能力相比,已经落后了30~40年的时间。

2 人类开展空间探索的动机和目的

在哥白尼、伽利略时代,甚至包括齐奥尔科夫斯

基在内,人类对空间的探索具有自发的性质,动机完全出于好奇心和对知识、真理的追求,当时的政府不但没有介入甚至起着反对的作用。但是到了21世纪,特别是进入空间时代以后的一段时间,空间探测成为国家政治、军事和经济实力的体现。美国和前苏联两个超级大国纷纷投入巨资开展空间探索活动,创造了许多“世界第一”。开展空间探索活动对政府而言至少有如下几个好处:

- 1) 占领太空制高点,显示军事和高科技实力,具有威慑力;
- 2) 通过空间探索的牵引,发展了运载火箭、卫星技术,这些技术同样可以用于军事目的;
- 3) 经空间活动发明的新技术,可以转移到民用领域,带动经济发展;
- 4) 振奋民心,激励民众,起到其他重大工程无法起到的作用;
- 5) 为人类增加科学知识,为人类的科学文化发展作出贡献。

进入20世纪90年代后,冷战结束。大规模的、以冷战为背景的空间探索活动逐渐结束,公众和政府开始考虑更加理智的发展路线。这一阶段也是人类空间探索活动的一个低谷期。维持美国霸主优势的项目是航天飞机以及国际空间站。这两个项目由于只在地球附近轨道运行,逐渐失去了公众的兴趣和关注,其政治作用自然也就逐渐降低。

2004年1月14日,经过几年的准备,美国总统在美国国家航空航天局发表了名为《探索精神的复兴》的演说^[5]。这一新的动向,标志着冷战结束后的空间探索低谷期的结束,美国将其目标重新定位在远离地球的深空。然而这次不是月球,而是火星,甚至火星以外。另外一个不同则是没有了冷战时期那样的对手。因此,这次必须找到充足的依据,说明人类重返月球和登陆火星的必要性。综合美国公布的各种资料,其动机归纳为5个,分别是:人类的文明进步(human civilization),获取科学知识(scientific knowledge),有助于建立全球合作伙伴关系(global partnerships),经济发展(economic expansion),激励公众(public engagement)。

可见,关于探索未知、增加人类知识、促进人类文明和进步的目标逐渐成为主流。政府支持的空间探索活动的科学内涵开始逐步增加。这是与冷战时期相比,人类开展空间探索活动的最大变化。

现代科学技术发展日新月异,仅依赖科学家本

人的探索活动越来越不可能,而以国家财力为主要支持的大型科学基础设施,如加速器、大型科学试验或观测装置,已经成为重大科学发现和科技进步的主要基础设施。政府出于科学发现、增加人类科学知识的目的,在空间探索重大工程项目上投入大量资金的项目也越来越多,甚至成为空间大国政府必须为人类发展承担的责任。与此同时,重大科学项目对一个国家在政治、军事、高技术、经济,甚至外交方面的支持力度依然存在,只不过是台前逐步移向了幕后。

中国政府于2000年发表了《中国的航天》白皮书^[6],其中将空间科学列为中国航天活动三大领域之一,表明中国以科学目标牵引的空间探索活动也开始受到政府关注。中国正在为人类的科学发展作出自己的贡献。中国的空间科学探测活动必须强调其科学内涵,没有科学目标和内涵的空间探测计划将会被认为是倒退。

3 我国未来的空间科学探测计划

据不完全统计,中国从事空间科学理论研究和探测技术研究约4000余人,其中院士近50人、研究员/教授1000余人、副研究员/高工/副教授近2000人、中级研究人员1300余人。其中有一部分研究人员既从事基础理论研究又从事探测技术研究,因此,中国的空间科学已经具备了一定的发展基础。在国家投入持续和不断增加的情况下,相信中国的空间科学家将逐步作出重要的发现和贡献。

然而,必须慎重选择科学探测目标。原因有两个:第一,正如前面多次提到的,由于前苏联和美国在冷战时期的大量投入,空间探测中几乎所有唾手可得的“第一次”都被美、苏瓜分了,科学发现只有“第一”,没有“第二”,重复的发现是没有科学意义的,因此,必须找到具有创新意义的切入点;第二,国家在空间科学上的经费投入还不能与美国相比,必须把有限的经费投入到最需要的地方。

下面简要介绍4个正在预研论证的空间探测计划,重点介绍其科学目标。

3.1 中俄火星联合探测计划

中俄火星联合探测计划由中国科学院空间中心提出,中国和俄罗斯联合实施。中方负责研制萤火1号火星探测器(如图3所示),俄方负责将探测器发射到火星轨道。萤火1号探测器重约110 kg,载有高精度磁强计、等离子体探测包、掩星探测接收机

和CCD光学相机。它将运行于近火点约800 km、远火点80000 km的近赤道火星轨道上,对火星的空间环境展开探测,其中部分探测活动与俄罗斯的福布斯探测器联合进行,实施对火星空间环境的人类首次“星-星”两点探测。中俄火星联合探测计划目前已经进入工程研制阶段,预计于2009年10月发射,2010年8月进入火星轨道。其科学探测目标为:

- 1) 探测火星的空间磁场、电离层和粒子分布及其变化规律;
- 2) 探测火星大气离子逃逸率;
- 3) 探测火星地形、地貌和沙尘暴;
- 4) 探测火星赤道附近的重力场。



图3 萤火1号小卫星

Fig. 3 China's first Mars exploration spacecraft Yinghuo - 1

这一系列的科学探测目标的选择,具有非常巧妙的切入点。首先,人类已经发射的几乎所有火星探测计划都是针对火星本身的,比如发现生命、寻找火星上的水等等。沿着水的线索去寻找地外生命是空间探测的一个重大主题,也是回答人类从哪里来、人类在宇宙中是否孤独的问题。这个问题迄今为止还没有明确的答案。然而,对火星本身进行深入的探测,甚至着陆探测,需要大量的资金投入。也正是由于绝大多数探测都是针对火星本身,其轨道设计都是极轨圆轨道,这样的轨道非常不适合探测火星的空间环境。因此,虽然人类已经向火星发射了数十颗探测器,但火星的空间环境仍然是一个相对未知的领域。而研究火星空间环境,对分析火星的演化历史,进而研究地球的演化具有非常重要的科学意义,也可以为后续的火星探测计划,乃至载人火星探测计划的顺利实施提供必要的准备。

萤火1号探测器利用与俄罗斯探测器在火星轨道分离时的大椭圆轨道条件,针对目前对火星空间环境探测的薄弱环节,第一次全面探测火星的空间磁场、电子、离子,包括离子成分。其中对氧离子的探测特别具有意义。通过研究氧离子的逃逸情况,可以分析研究火星上的水损失的原因。萤火1号的另一个独特之处是通过与俄罗斯探测器合作对火星的电离层开展“星-星”掩星探测,首次揭示火星电

离层向阳面和背阳面的剖面特征。

为了实施科普计划和吸引公众的兴趣,萤火 1 号还搭载了 CCD 光学相机用以拍摄火星表面大尺度的图像。它同时也具有一定的科学目标,比如在发生沙尘暴时,拍摄沙尘暴发生和发展过程;结合电离层环境的探测,研究地面沙尘与电离层离子之间的关系。

由于萤火 1 号探测器运行在一个大椭圆的轨道,火星重力场对其影响非常明显。通过对萤火 1 号探测器轨道的精密测定,就可以反演火星近赤道附近的重力场。

可见,萤火 1 号探测器虽然只是一个 110 kg 的微小探测器,投入非常有限,但是通过巧妙选择的切入点 and 科学探测目标,有望获得大量的第一次发现,为人类对火星的认识增添中国科学家的贡献。

3.2 夸父计划

夸父计划是继地球空间双星计划之后的又一个地球空间探测计划。它由一颗行星际探测器和两颗地球卫星组成。行星际探测器定点在日地连线之间的重力称动点(又称拉格朗日 1 点, L1)附近,也即它总是处于地球和太阳之间,距离地球大约 150×10^4 km 的地方,成为一个太阳天文台并就地监视上游太阳风。另外两颗卫星是地球卫星,在极轨大椭圆轨道上运行,对地球两极的极光进行连续观测。三个飞行器组成一个整体,形成研究日地关系和进行空间天气预报的一个整体系统。

经过 20 世纪 60—70 年代的大发现年代,80—90 年代的深入探测和研究,人类已经认识到地球空间是一个充满各种粒子和电磁波的动态空间,特别是当太阳发生扰动时,地球空间就会受到影响,运行于其中的大量应用卫星也将受到威胁。然而,到目前为止,地球空间环境中的很多现象还没有得到合理的解释,还存在很多未知。夸父计划就是针对这些问题,利用大尺度的布局、成像探测和就地探测手段,研究地球空间各种动态特征的空间探测计划。该计划目前正在处于预先研究阶段。

3.3 磁层 - 电离层 - 热层探测计划

磁层 - 电离层 - 热层探测计划(简称 MIT 计划)是国际上首个把磁层 - 电离层 - 热层作为一个整体来研究的空间探测计划。该计划利用小卫星星座系统,探测电离层上行粒子流发生和演化对太阳风直接驱动的响应过程,研究来自电离层和热层近地尾向流在磁层空间暴触发过程中的重要作用,了

解磁层空间暴引起的电离层和热层全球尺度扰动特征,揭示磁层 - 电离层 - 热层系统相互作用的关键途径和变化规律。

MIT 计划由 4 颗小卫星组成,1 颗运行于远地点 25 个地球半径、近地点 3 个地球半径的大椭圆近赤道轨道上,称为太阳风探测器;1 颗运行于远地点 7 个地球半径、近地点 1 个地球半径的大椭圆极轨道上,称为磁层探测器;还有 2 个卫星运行于远地点 1 000 km,近地点 500 km 的椭圆极轨道上,轨道面相互垂直,称为电离层 - 热层探测器。

MIT 计划从规模上来讲类似于双星计划,投入少,但其切入点巧妙,紧扣当前地球空间暴的触发和耦合传播的物理问题,目前已经得到欧空局和美国科学界同行的响应,预计将于 2015 年以后发射,届时会同欧洲与日本联合的 12 颗星的 Cross Scale 计划形成互补,揭示磁层电离层和热层爆发以及耦合的秘密,为人类作出重要贡献。

3.4 太阳极轨射电望远镜计划

地球空间天气的任何灾难性事件都是由太阳的爆发引起的,然而,并不是所有太阳的爆发都可以引起地球空间环境的变化。这是由于从太阳喷发出的物质往往呈现为云团状,在离开太阳表面之后沿着黄道面附近逐渐向远处扩散、传播。其扩散和传播规律和路径还不清楚。因此,单纯观测太阳表面的爆发,无法准确预报这些物质是否会到达并影响地球。

在太阳发生剧烈爆发时,这些日冕抛射物质到达地球需要大约 2 天的时间。在这段时间中,如果能够跟踪监视这些物质的运动,就可以精确预报它们是否能够到达地球。由于它们的源区大部分来自太阳低纬,即使在高纬经过传播也会向黄道面附近集中。因此在黄道面内观测它们就像雾里看花。最好的办法是脱离黄道面,在太阳极区对整个内行星际进行居高临下的成像观测。这就是提出太阳极轨射电望远镜计划^[7](solar polar orbit radio telescope, 简称 SPORT 计划)(如图 4 所示)的主要动机。SPORT 计划的主要科学目标为:

- 1) 利用运行在太阳极轨轨道上的行星际 CME 射电成像仪,居高临下连续跟踪监测日冕物质抛射事件从太阳表面到地球轨道处的传播和演化;

- 2) 揭示太阳风暴在日地行星际空间的传播规律,建立行星际空间天气物理模型和预报模型,研究太阳风的加热、加速和在高纬区的超径向膨胀,确定

太阳角动量的分布和总输出；

3) 获得米波段宇宙射电背景图。

SPORT 计划的应用目标为：

1) 提前 1~2 天预报地球空间天气事件；

2) 为其他深空探测活动提供整个内行星际空间的太阳风暴天气图；

3) 带动航天技术在深空轨道设计、行星际航行、测控等方面的技术进步。

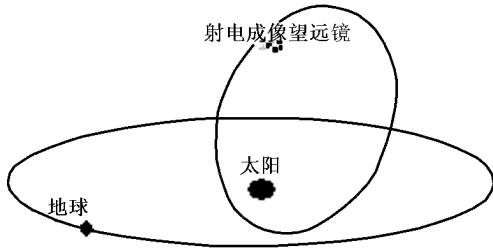


图 4 SPORT 计划在行星际中的轨道

Fig. 4 Solar Polar Orbit Radio Telescope program

由于行星际太阳风的等离子体密度很低,因此如何对其成像就是最为关键的技术。SPORT 计划的核就是利用干涉式的综合孔径技术在 10 m 波段实现高分辨率的成像。拥有这项技术的 SPORT 计划具有鲜明的创新性,已经受到了国际上的普遍关注。该计划中的射电望远镜预计在 2017 年发射,经过 5~6 年的行星际飞行,于 2023 年前后太阳峰年时到达预定轨道,目前正在进行预先研究。

4 结语

1) 中国在历史上曾为人类探索太空作出过重

要贡献,但是到了近现代却落后了；

2) 基于冷战背景的空间竞赛时代已经过去,人类的空

间探测活动将向更具理智和科学内涵方向发展；

3) 各空间大国正在部署重大空间探测计划,如同在地面上部署重大科学基础设施和装置一样,空间大国也有责任为增进人类认识空间的知识而加大投入,中国已经开始加入这一行列；

4) 中国在选择空间探测计划时,更应该重视其切入点和独创的科学目标,力争用较少的经费,作出较大的贡献。

参考文献

- [1] Fisher R. International Living With a Star [J/OL]. NASA, Feb, 2008. <http://ilws.gsfc.nasa.gov>
- [2] 李约瑟. 中国科学技术史: 第四卷 天学 第二分册 [M]. 科学出版社, 1975
- [3] 成都金沙遗址博物馆. 金沙遗址 [M]. 五洲传播出版社, 2006
- [4] 斯科特·麦克卡特奇恩. 太空与天文学 [M]. 上海科学技术文献出版社, 2007
- [5] George W Bush. A renewed spirit of discovery [R/OL]. Jan, 2004. http://www.whitehouse.gov/space/renewed_spirit.html
- [6] 国务院新闻办公室. 《中国的航天》白皮书 [M]. 2000 - 11
- [7] Wu Ji, Wang Chi, Wang Shui, et al. Solar Polar Orbit Radio Telescope for Space Weather Forecast [M]. GOA India: ILWS Workshop, 2006

Chinese space exploration and scientific motivation

Wu Ji

(Center for Space Science and Applied Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

[Abstract] After a brief review of the exploration history of the human beings with emphasizing on the Chinese contributions, analysis is given on the motivation of the exploration activities. The scientific motivation is given particular attention. The general description and scientific objectives of four Chinese space exploration programs are given.

[Key words] China's space exploration; China - Russia joint Mars exploration project; Kuafu project; magnetosphere - ionosphere - thermosphere exploration project; solar polar orbit radio telescope