

· 科学论坛 ·

# 新时代我国天文学科发展的思考

刘 强\* 颜景志 董国轩

(国家自然科学基金委员会 数理科学部, 北京 100085)

**[摘要]** 本文从天文学的特点、国际天文学发展态势和国内研究现状出发,分析了目前我国天文学研究面临的机遇和挑战。针对这些机遇和挑战,建议自然科学基金应该支持建造一批有竞争力的观测设备、支持天文交叉学科发展并增加天文学科资助的渠道,加强学科布局,扩大人才队伍的培养,促进我国天文学科的快速发展。

**[关键词]** 国家自然科学基金;天文学科;机遇;挑战

中兴事件和美国针对华为的制裁引起了国人的深刻反思,也让全社会重新审视基础研究的重要性。习近平总书记指出:基础研究是整个科学体系的源头,是所有技术问题的总机关。国务院在2018年4号文《国务院关于全面加强基础科学研究的若干意见》对发展基础研究提出了具体的指导意见,基础研究在新时代迎来了非常好的历史机遇。

德国哲学家黑格尔说过:一个民族有一群仰望星空的人,他们才有希望。天文学作为六大基础学科之一,在《国务院关于全面加强基础科学研究的若干意见》《国家中长期科学和技术发展规划纲要》和《教育部等六部门关于实施基础学科拔尖学生培养计划2.0的意见》等国家发展规划中都作为重点基础学科来发展。天文学在国内虽然是小学科,但国际上却属于大科学,欧美强国十分重视天文学的发展,美国排名靠前的大学基本都有天文专业,天文研究队伍远大于我国。天文学研究的是宇宙的基本规律,关注的是最具前瞻性的科学问题。

天文学研究和人类的命运息息相关。古代社会由于知识缺乏,看到古代天文现象产生了神话传说,中外宗教流派均强调是自己的神创造了宇宙,大航海时代通过观察天上星体的位置导航,老百姓日出而作、日落而息,通过观察太阳周年运动确定节气,以及当代最前沿的“两暗一黑、三起源”(暗物质、暗能量、黑洞,宇宙起源、天体起源和生命起源),天文

学关注的都是当时最前沿的科学问题,和人类社会的发展紧密相连,并推动了相关技术领域的发展。中国古代天文学曾有着辉煌的历史,在新时代国家自然科学基金深化改革的关键时期,如何让我国天文学和中华民族一起复兴值得我们深入思考。

## 1 天文学特点、国际天文学发展的趋势及国内研究现状

天文学是门古老的学科,根据考古学的发现,我国历史上最早的观象台出现在公元前2100年的原始社会末期,是考古人员在山西尧都陶寺遗址中发现的,它比此前发现的最古老的英国巨石阵观象台还要早近500年<sup>[1]</sup>。在其后的各个年代对天文的发展均十分重视,中国历朝历代均设有专门观测星空的部门(如钦天监),留下了非常丰富的观测记录,如公元185年12月7日,中国天文学家观测到超新星SN185,这是人类历史上发现的第一颗超新星<sup>[2]</sup>。

天文学的研究对象是宇宙中各种不同尺度的天体,看起来离我们很远,但天文学的研究成果已经融入我们的日常生活中,极大地改变了人类对自身的认识,并在很多层面影响着我们的生活:哥白尼的日心说曾经使自然科学从神学中解放出来,并且随着天文学的发展,人类不断把视野延伸到宇宙新的深处,使人类更加清楚地认识到地球只是宇宙中再普通不过的一个恒星系统中的一颗行星,只不过有

收稿日期:2019-02-25;修回日期:2019-05-30

\* 通信作者,Email:liuqiang@nsfc.gov.cn

了人的存在,才使得它显得特别;中国古代劳动人民通过观察太阳在黄道上的位置制定了二十四节气,一直沿用至今,二十四节气在中国农业生产中发挥了重要作用,并于2006年被列入第一批国家级非物质文化遗产名录;星座的概念至今仍在广泛应用,导航从古至今都和天文观测密切相关;天文信号极其微弱,天文探测推动的技术发展对人类影响深远,比如几乎人人离不开的WIFI技术的发明者就是一位天文学家(约翰·奥沙利文)，“中国天眼”(FAST:500米口径球面射电望远镜)发展的抗疲劳索网技术被应用到港珠澳大桥上,等等。

目前,天文学的发展更和人类的命运息息相关,随着人口的急剧增长和人类活动的扩张,人类对资源的需求越来越强烈,环境污染越来越严重。除此之外,环绕在地球近地轨道的各种空间碎片、近距离飞掠地球或运行轨道与地球公转轨道重合的小天体,都会对地球造成潜在不可估计的威胁。2013年2月15日发生在俄罗斯车里雅宾斯克撞击事件中的小行星直径只有十几米,如果这些小天体足够大(直径超过1公里),对地球的撞击将是致命的,6500万年前的恐龙大灭绝事件将有可能重演。因此,天文学家一方面对这些近地天体的轨道进行监测,另一方面也在茫茫宇宙中寻找其他有可能居住的“第二地球”,这可能比让地球去“流浪”更具有可行性。

天文学的发展已经是集观测、理论研究、实验室模拟和数值模拟“四位一体”的学科,和其他学科有广泛的交叉性。当前国际天文学发展的趋势呈现四大特点:高灵敏度、高分辨率、多信使研究和连续观测。

天文信号极其微弱,比如LIGO发现的第一例引力波信号, $h$ 值(引力波引起的形变值/光路长度)只有 $10^{-21}$ ,相当于在日地距离之间要探测到氢原子核大小的长度变化;世界上目前最大的天文射电望远镜计划“平方公里阵列望远镜(SKA)”总干事有一个著名的例子来证明天文信号是多么微弱,他说人类迄今为止所有射电望远镜接收到的射电信号能量总和小于一片雪花掉落地面时产生的能量。如果一片雪花(按0.5克计算)以1米/秒的速度(实际速度会有偏差,但不会有量级的偏差)落地,其能量大约是0.25毫焦,相当于人眨一次眼睛所耗的能量。

天文信号如此之弱,为了提高观测的灵敏度,就需要望远镜口径足够大,目前国际上主流的光学/红外望远镜是10米级的望远镜,在建的包括3台30米级望远镜(TMT-30米、GMT-24.5米、EELT-39.3米)。我国新建的FAST望远镜是世界上口径

最大的单天线射电望远镜,但由于技术和成本等因素,望远镜口径不能无限扩大,且单纯地扩大单口径,不能提高观测的空间分辨率。因此,国际上射电天文发展的大趋势是建造大型射电综合孔径望远镜,即用一批小口径望远镜做干涉,既能提高观测灵敏度,也能提高空间分辨率。目前国际上已建成的观测灵敏度和空间分辨率最高的射电阵列望远镜是位于智利阿塔卡马沙漠的ALMA望远镜,计划中的最知名的射电望远镜阵列是SKA,其接收面积将达到1平方公里,灵敏度和分辨率都将远超单口径射电望远镜。

无论是光学还是射电望远镜,其接收的都是电磁信号,随着中微子、宇宙线的发现和对其研究的不断深入,尤其是2016年LIGO首次宣布探测到引力波,天文观测的手段越来越丰富,不再局限于电磁波。天文学家通过中微子可以研究天体更深层的结构和演化,通过宇宙线可以研究粒子的加速机制和暗物质,通过引力波可以研究致密天体的并合过程等。天文学研究进入了多信使时代,天文学家可以通过建造基于不同探测手段的望远镜,从而研究天体演化的各个阶段。

各个天体也不是像我们肉眼看到的那样恒定不变,其位置和亮度随时都在发生变化,只不过离我们太遥远,肉眼很难分辨出其变化,而通过大型望远镜可以监测到其变化,包括位置、亮度、自转等参数。地面单个望远镜由于受观测条件的限制(昼夜交替、气象因素、人类活动等),很难对某个天体进行不间断的观测。而天文观测属于被动观测,特殊天象的发生不受人的控制,比如超新星、伽马暴、引力波等不同时间尺度的恒星爆发现象及系外行星的发现等,都需要高时间分辨率和连续观测,以捕捉到其难以预计的爆发信号。比如,2017年9月6日太阳发生一次近12年来最强的X9.3级耀斑爆发,由于当时我国正处于夜间,我国科学家未能对其进行观测,如果我国有空间太阳望远镜或在西半球也有太阳望远镜,就可以对其进行观测,以获得第一手数据。因此,为了研究更精细的天体结构和演化,需要发展空间天文望远镜,或者建立全球观测网络,或者利用南极的极夜/极昼条件进行连续观测。

天文学是以观测为基础的学科,建造大型观测设备成本非常高。由于近代中国遭受战乱,建国后受困于经济能力,只能以经济建设为中心,与西方强国很早就投入经费发展天文设备相比,我们百废待兴,起步很晚。以光学望远镜为例,美国上世纪40

年代就建造了口径5米的海尔望远镜,我国口径最大的光学望远镜是2009年建成的口径4米的郭守敬望远镜(LAMOST,专用望远镜);口径最大的通用型光学望远镜是丽江的2.4米望远镜,全国也只有两台2米级的通用型光学望远镜,从数量和口径上远远落后于世界天文强国。在空间望远镜方面,根据初步统计,自上世纪60年代至今,世界各国共发射了各个波段的空间天文观测设备超过130个,而我国直到2015年底才发射了第一颗天文卫星—暗物质粒子探测卫星(悟空号)。悟空号升空不到2年,就发布了非常重要的研究成果<sup>[3]</sup>,天文观测设备对天文研究的重要性可见一斑。

根据国家自然科学基金委员会和中国科学院文献情报中心的调研报告,中国天文学科论文的总量已经位居世界第七,这一结果虽然与我国的经济总量排名相差较大,但考虑到我国所拥有观测设备的现状,这一成果的取得实属不易。天文学家通过自身努力,积极参与国际合作,申请国际大望远镜观测时间,在国际一流刊物上发表了一系列有影响力的工作。

## 2 我国天文学发展面临的机遇

我国当前正处于建设创新型国家的新时代,经济总量已经位于世界第二,天文学发展也面临着重大的历史机遇。

### 2.1 国家越来越重视天文学等基础学科的发展

中兴事件和美国针对华为的制裁反映出的“卡脖子”问题正折射出我国基础研究存在的短板,基础研究越来越引起国家的重视,随着国家经济实力的增长,我国在基础研究方面的投入正在逐渐加大,从国家自然科学基金经费近几年均保持快速增长可见一斑。

作为重要基础学科的天文学,欧美强国对其非常重视。以美国为例,截至2018年底,美国在国际天文学联合会(IAU)的注册会员有3027名,中国只有738名,不到美国的四分之一。美国主要的大学里基本都有天文系或天文专业,而我国的天文队伍主要集中在中国科学院的天文台,虽然经过近几年的大力发展,知名高校有天文系或天文专业的数量仍然不超过10所。

随着国家越来越重视对基础研究的投入,我国天文学发展目前面临着重要的机遇。习近平总书记2012年出席了在北京举行的第28届IAU大会,并在大会开幕式上发表了题为“携手探索浩瀚宇宙,共创人类美好未来”重要讲话。习总书记充分肯定了

天文学的重要性,他指出:“天文学是人类认识宇宙的科学,是推动自然科学发展和高新技术发展、促进人类社会进步的最重要、最活跃的前沿学科之一,对其他门类的自然科学和技术进步有着巨大推动作用。天文观测的每一次重大发现,都不断深化着人类对宇宙奥秘的认识;天文科学的每一项重大成就,都极大丰富了人类知识宝库;天文学与其他学科交叉融合实现的每一次重大突破,都对基础科学乃至人类文明进步带来现实的和长远的深刻影响。”经过近几年的快速发展,虽然我国天文学仍与发达国家存在很大的差距,但已经取得了一些有特色的研究成果,天文学的研究成果自2016至2019年连续四年出现在习总书记的新年讲话中,十九大报告中六项重大科技成果中,有两项属于天文学(天眼、悟空)。

深空探测是一个国家综合国力和科技实力的体现,也是人类认识宇宙、拓展生存空间的必然途径和重要手段。作为一个负责任的大国,我国经济总量已经位居世界第二,此时需要我国在探索人类未来命运上有更多的投入。按照国际同行的话讲,我国目前的深空探测不是走得最远的,但却是世界各国中走得最踏实、最有保障的,各项探测计划都在稳步、有序推进中,许多国家也积极加入到以我国为主的深空探测中。嫦娥四号的成功在国际上引起了巨大的反响,有4个其他国家的科研设备搭载嫦娥4号升空;火星探测器也将于2020年左右发射,更远的探测也都在规划之中,中国已经成为深空探测中最积极的国家之一。

### 2.2 国际合作需要中国的加入

天文观测的分辨率和灵敏度越来越高,观测设备越来越大型化,单个国家的经济和技术水平越来越难以承受,即使美国也难以承受单独建造大型天文望远镜(比如30米望远镜TMT)。随着中国科技的快速发展和经济的持续快速增长,国际天文的发展越来越需要中国的技术和经费。以世界上目前最大的天文射电望远镜计划“平方公里阵望远镜(SKA)”为例,截至目前,已由包括中国在内的12个国家参与该望远镜第一期的建设,未来还有可能进一步增加,数量众多的低中高频射电望远镜单元分布在南非和澳大利亚两个国家。中国在该项目中发挥了重要作用,经国务院批准,科技部会同中国科学院、国家自然科学基金委员会、中国电子科技集团等单位,统筹协调组织全国力量参与该项目,为SKA的建造贡献了重要的“中国方案”。比如中电集团



54 所提出的反射面天线方案被选为 SKA 中频天线的唯一设计方案,并且已经完成首天天线的建造和验收;SKA 中国区域数据中心建设方案、信号与数据传输方案等也得到了 SKA 的高度评价。

### 3 我国天文学面临的挑战

天文学在面临新时代重大机遇的同时,也面临着巨大的挑战,主要包括:

#### (1) 大众期望与现实的差距较大

互联网时代大众的信息获取速度越来越快,国际化程度越来越高,在科技成果领域,公众能接触到国际上最前沿的科技成果信息。以国际天文学为例,近几年发展速度非常快,引力波、快速射电暴、系外行星等天文学重大成果层出不穷,大众在被这些重大成果点燃热情的同时,也对中国天文学寄予了同样的厚望。

天文学是以观测为基础的学科,重大发现依赖于设备的先进性,上述成果的发现均是依赖国际上地面和空间的先进设备。我国在天文设备方面远远落后于欧美天文强国,虽然我国建成了国际上最大的单口径射电望远镜“中国天眼(FAST)”,并在调试阶段有一些重要发现,但天文设备总体上与国际上的差距仍很明显,很难做出重大的天文发现,目前只能期望 FAST 在正式投入运行后有重大的发现。

天文设备严重不足的现状在我国仍将长期存在,公众过高的期望和实际水平的落差会在舆论上对天文学的发展提出一些挑战,包括国家和社会资金的投入、优秀人才的择业等。

#### (2) 天文设备越来越昂贵,国家缺乏稳定的投入

我国的天文设备与国际天文强国差距明显,而未来的天文设备会越来越昂贵,虽然我国的经济实力在逐步增强,但国家在基础研究方面投入经费的比例仍然偏低,能有多少经费投入到天文学领域仍存在不确定性;此外,未来天文观测设备的建造越来越依赖国际合作,地面上目前最好的天文观测台站包括智利、夏威夷和南极,中国在未来主导或参加大型国际天文项目,尤其是把设备建造在国境之外,建造和运行都需要比较大的投入,中国能否有稳定且超过其他国家的投入,将直接决定我国天文在观测设备方面与天文强国的差距是否会越来越大。

#### (3) 多学科合作中存在竞争

天文学的发展离不开学科交叉,天文学和物理学、地球科学、信息科学、数学、化学、工程技术、材料科学、生命科学等很多学科均有交叉,国际天文学近

几年新兴了很多交叉学科,比如天体生物学、天文信息学、比较行星学等。因此,和其他学科交叉合作的程度将直接决定天文学未来的发展潜力。

但是由于国家投入基础研究的资源是有限的,能否获得国家的支持是学科能否获得快速发展的关键因素。因此,不同学科在争取国家支持的同时又存在直接的竞争关系。现代天文学在国内起步较晚,天文学的体量相对其他学科规模较小,天文研究单位的数量和高层次人才队伍体量(比如院士、国家杰出青年基金获得者、长江特聘教授)相对偏小,因此,在争取国家支持的话语权方面与其他学科还有一定的差距。

#### (4) 人才队伍储备严重不足

学科的发展离不开人才,而我国的天文人才队伍规模相对偏小,分布也极度不平衡。据统计<sup>[4]</sup>,2013—2017年只有2141人参与申请过国家自然科学基金天文学科的项目,中国科学院和高等院校分别占62.73%和34.47%;1146人获得过天文学科的资助,中国科学院和高等院校分别占65.01%和34.03%。和其他学科不同的是,天文研究队伍近2/3集中在中国科学院少数几个天文台,高等院校(尤其是知名高校)在天文学本科教育方面的缺失导致天文学科在人才队伍培养方面后劲不足;获得过国家自然科学基金天文学科资助的高校只占我国高校数量约4.3%,有天文专业的高校数量更少,高校天文学科点的缺乏直接导致天文学科在高校双一流建设中处于劣势地位。

### 4 建议的应对措施

在新一届党组的领导下,国家自然科学基金委员会正在进行深化改革,并提出了“鼓励探索,突出原创;聚焦前沿,独辟蹊径;需求牵引,突破瓶颈;共性导向,交叉融通”的资助导向,新的资助导向非常符合天文学科的发展特点。宇宙中仍有许多未解之谜,事关人类的未来,天文学的每一个重大发现都能引起轰动,都是基础研究的原创成果和领域前沿;天文学的发展需要与其他学科进行广泛交叉,同时又能推动相关技术领域的发展,天文学的观测技术和研究方法在满足我国重大战略需求(探月工程、快速目标监测、VLBI精密测轨、导航、精密原子频标产生和维持、太阳活动预报等)中发挥了重要作用<sup>[5]</sup>。因此,借着国家自然科学基金深化改革的契机,我们建议采取如下措施加快天文学科的发展:

### (1) 支持建造有竞争力的观测设备

根据天文学学科的特点和现状,建议加大在天文观测设备方面的投入,这包括三个方面:① 主导建造大型天文观测设备;② 在关键技术方面加大投入,以实物贡献等形式重点支持参与国际大型观测计划;③ 建造有特定观测目标的中小口径观测设备。这三个方面瞄准的都是重大天文事件的原创性发现和天文前沿领域。获得诺贝尔物理学奖的天文成果基本都是依赖于大型天文观测设备的发现,比如宇宙微波背景辐射、脉冲星、中微子、宇宙加速膨胀、引力波(两次)等的发现,我国天文学要想取得原创性的成果,加大天文观测设备的投入是必由之路。

### (2) 支持天文交叉学科,增加天文学科资助的渠道

天文学科的发展离不开相关交叉学科的共同发展,建议加大和天文相关的交叉学科的资助,充分发挥现有天文联合基金<sup>[6]</sup>的优势,以天文学科科学问题为牵引,吸引更多科研人员参与天文学研究,弥补天文研究队伍的不足。

此外,对天文学重要的方向进行重点倾斜,通过专项基金进行支持,对这些方向的资助不参与多学科竞争,但一定要邀请多学科的专家参与论证和评审,对符合国家自然科学基金资助导向的领域进行长期和稳定的资助,宁缺勿滥。

### (3) 加强学科布局,扩大人才队伍

天文学的发展需要一支稳定的队伍,不但需要在中科院所属天文台和知名高校有稳定的研究队伍,在天文设备所在的地区(一般是边远地区)也需要有一支稳定的队伍来进行天文观测和设备维护,因此,要充分发挥国家自然科学基金学科布局的特点,对边远地区的天文研究单位进行扶持,尤其是加强对天文观测设备所在地区研究队伍的资助;建议

在区域创新发展联合基金中把天文学作为一个重点的资助方向,吸引更多的科研人才参与天文学研究,扩大天文学在相关区域的影响力。

高校(尤其是知名高校)在人才培养方面发挥着至关重要的作用,建议对知名高校中新的天文增长点进行重点资助,促进天文学科点数量的快速增长;建议先期择优启动1~2个基础科学中心,发挥稳定长期支持的特点,让科研人员能够专心研究,组织高水平研究队伍进行原创研究。

天文学的重要性不言而喻,《流浪地球》票房大卖的背后体现的是全国人民对人类命运的关心,以及对在中国在天文领域赶超美国的期盼,我们希望以国家自然科学基金深化改革为契机,全面落实新时代国家对基础研究和科学基金发展提出的新要求,让天文学在中国真正成为人类探索宇宙奥秘和人类未来的“大科学”!

## 参 考 文 献

- [1] 李勇. 世界最早的天文观象台—陶寺观象台及其可能的观测年代. 自然科学史研究, 2010, 29(3): 259—270.
- [2] Zhao FY, Strom RG, Jiang SY. The Guest Star of AD185 must have been a Supernova. Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics, 2006, 6(5): 635—640.
- [3] DAMPE Collaboration. Direct detection of a break in the teraelectronvolt cosmic-ray spectrum of electrons and positrons. Nature, 2017, 552(7683): 63—66.
- [4] 刘强, 颜景志, 董国轩. 基于科学基金申请和资助情况浅谈天文研究队伍的发展. 中国科学基金, 2018, 32(6): 612—616.
- [5] 《国家自然科学基金数理科学“十三五”规划战略研究报告》, 科学出版社, 2017.
- [6] 《2019年度国家自然科学基金项目指南》, 科学出版社, 2019.

## Suggestions on the development of astronomy in China for a new era

Liu Qiang      Yan Jingzhi      Dong Guoxuan

(Department of Mathematical and Physical Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085)

**Abstract** Based on the characteristics of astronomy and the development of international astronomical research, this paper analyzes the opportunities and challenges of the astronomical research in China. In response to these opportunities and challenges, we propose that the NSFC should support the construction of a number of competitive observational telescopes, support the interdiscipline of astronomy and other related sciences, increase the channels for astronomical funding, strengthen the discipline layout, expand the astronomical research teams, and promote the rapid development of astronomy in China.

**Key words** National Natural Science Fund; astronomy; opportunities; challenges