

学术前沿

FRONTIERS

中国的太空战略

走向2030:中国空间天文的发展与展望

厦门大学天文学系教授 方陶刚

深空探测:空间拓展的战略制高点

北京理工大学特聘教授 崔平远

太空探索正在进入航天器集群时代

南京航空航天大学航天控制系主任 周新

太空探测开发力助大国崛起

北京大学物理学院教授 徐仁新

哈勃参量:当前宇宙学研究的重要战略方向

北京师范大学天文系教授 张同志

深空探测自主导航技术的发展趋势预测

北京航空航天大学宇航学院教授 王朔昆

03^上

2017(总第117期)



www.cnki.com.cn

人民邮电出版社

中文社会科学引文索引 (CSSCI) 来源集刊

太空探测开发力助大国崛起

——当前天文学发展的深刻社会意义

北京大学物理学院教授 徐仁新

【摘要】太空作为重要的战略资源，其开发的程度体现国家的综合竞争力。天文学乃自然科学六大基础学科（数理化天地生）之一，紧随人类文明之启而诞生。相对于其他基础科学而言，天文学具有“小学科、大科学”特点，属于“贵族的游戏”。鉴于经济实力的提升，未来一段时间将是我国天文学蓬勃发展的黄金时代。本文分别从科学问题和望远镜设备两个方面阐述了天文学的社会意义，特别是在大国崛起过程中的关键角色；讨论了天文学与太空科技的关联，特别是脉冲星研究对太空科技的促进作用。

【关键词】天文学 天文望远镜 大国崛起 民族复兴

【中图分类号】D8 **【文献标识码】**A

【DOI】10.16619/j.cnki.rmltxsqy.2017.05.004

作为四大文明古国之一，中国曾经是人类史上的璀璨明珠，然而近代却倍受屈辱。1840年的鸦片战争撬开了古老中国的大门，接踵而来的是若干不平等条约的签署，丧失独立主权的中国被戏称为“东亚病夫”，国民的自尊心亦丧失殆尽。近年来，中国的经济建设成效举世瞩目，但就科学和技术的整体实力而言，与西方发达国家的差距还是明显的。

未来要实现中华民族的全面复兴，科学和技术之兴盛不可或缺。科学集人类关于自然现象或社会经验之大成，不仅作为软实力体现人类的文明和进步，而且能够引领社会的技术提升，促进一国产业从低端向高端转型。一句话，科学不仅“虚”而且也“实”，在国家强盛过程中起关键作用。这里拟从天文学角度阐述其在大国崛起过程中的特殊意义。

天文学要回答的问题是基本的、终极的

天文学乃自然科学六大基础学科（数理化天地生）之一，紧随人类文明之启而诞生。当智慧的灵长类生物抬头凝视繁星点点的夜空时，神秘而不解的疑问就一直萦绕其脑海：那是什么？离我多远？还有比它们更远的吗？它们一直就在那里吗？是不是那里也有一个像我一样遥望星空的他/她？缺少了这些思辩，猩猩或许永远不会成功进化为人类。虽然现代科学已经高度异化导致不同学科沟通的语言越来越有限，但是天文学企图回答的问题还是那么单纯而直白。

值得注意的是，相对于其他基础科学而言，天文学具有“小学科、大科学”特点。一方面，天文学所

徐仁新，北京大学物理学院天文学系教授，国家杰出青年科学基金获得者。研究方向为天文学。主要著作有《天体物理导论》等。



研究的科学问题丰富、终极而基本，往往需要倾一国或多国之财力和人才方能成功建设和运行某个大型天文观测设备以试图解决这些问题（此为“大科学”）；另一方面，天文学从业人员数目相对于其他学科偏少，甚至于明显少于某些二级学科（此为“小学科”，而我国目前天文学教研规模在自然科学中所占比重相对于欧美等发达国家而言则更低）。可见，天文学属于“贵族的游戏”，只有经济实力雄厚的强国才能支撑天文学研究。鉴于经济实力的提升，未来一段时间将是我国天文学蓬勃发展的黄金时代。天文学要回答的问题是基本的、终极的，这奠定了天文学在大国崛起中的重要地位。

首先，天文学能够塑造人们正确的世界观和宇宙观，提升整个民族的人文和科学素养。作为一种具有精神需求的生命，人类对认识自己所处的宇宙环境有本能的欲望。错误而极端的宇宙观易于导致某些灾难性的后果。“不知天有多高地有多厚”的人对自然就没有敬畏感，对同类就少了包容心，在法律和道德面前很可能就失去了心理底线。尽管渺小，但人类用科学手段探究自身在宇宙中的存在，这有助于革除教条思维、破除封建迷信。对崛起的大国而言，正确的世界观无疑是建设文明、和谐社会的必要基础。

值得提及的是，从物理学角度来看，天文学以宇宙中若干极端过程、甚至将宇宙本身作为实验室来研究自然。天文学的这一“物理”角色也很重要，有助于人们检验、改善甚至发现基本定律。许多极端的天体环境对于一般实验室物理学家而言是望尘莫及的，检验目前已知的“普遍”规律在极端天体条件下的正确性是天文学家不可推卸的职责。当然，在极端情形下不排除某些已知规律需要作部分甚至突破性的修正。完善和发现物理规律恰是天文学魅力的体现。牛顿发现万有引力定律就是这方面一个较早的典范，它能够阐明包括行星运动在内的若干跟引力有关的过程。难怪诗人蒲柏感叹：“自然和自然规律为黑暗隐

蔽。上帝说，让牛顿来！一切即臻光明。”

其次，以探测微弱天体信号为目的而发展起来的若干先进天文观测技术，促进了现代科学技术的发展。这些科技的转化和应用推动着社会、国防以及军事等的现代化。贯穿人类文明史的重大疑难问题的解决离不开愈来愈尖端的技术革新，只有这样才能探测愈来愈准、愈来愈远的宇宙信息（包括望远镜在内的大型实验设备没有最高端，只有更尖端）。可见，对终极问题解决的努力促使人类对尖端技术永无止境的追求、带动整个社会产业的升级并提升竞争力。

再者，参与国际一流大型天文望远镜的建设和运行是分享科学管理经验的机会。尽管各国文化、制度等存在差异，但高度国际化的天文设备的实施却普遍以“高效率、低成本”为宗旨。所以，国际大型天文设备不仅是科技交流的平台，也为高效而科学的行政管理模式提供了范例。

最后，还需指出的是，作为软实力的科学文明往往以认识宇宙的重大进展作为时代的记忆。牛顿在学术上是多产的，但如上提及，以万有引力定律的发现最具代表性。17世纪以来相当长的时间内，学术界对牛顿的崇拜近乎神化，直到20世纪出现更新牛顿万有引力的爱因斯坦广义相对论。同样，爱因斯坦在物理学领域贡献颇丰，而“相对论”是他历史地位的象征。从牛顿到爱因斯坦，学术话语权的主导也相继从英国转向德国和美国。不少国人常有“诺贝尔奖情结”，但我们这个民族更应该思考的是：谁将会是这颗蓝色行星上替代爱因斯坦的人物？这个人的出现才标志着大国崛起后走向辉煌。

天文望远镜与太空科技

天文学拟回答的终极问题自人类诞生起一直相伴。人类只要在地球上没有灭亡，就不会停止思考和解决这些问题。天文学家主要通过天体过程所泄漏的各种信息来探究宇宙及自然基本规

律，事实上，他们正为解决这些科学问题而“不择手段”：在地面、地下、深海、太空等建造先进的天文探测设备（即望远镜）来搜集来自宇宙深处的微弱信号，并对这些数据仔细处理和分析，以求最终找到问题的答案。

电磁波（其能量子为光子）是迄今最主要的泄露天体过程信息的载体（其他载体包括宇宙线、中微子和引力波等），因此天文学家往往专注于探测各式各样的电磁辐射。依据探测手段上的差异，电磁波的观测分为三大类：光学、射电和高能X/γ射线。相应地，天文学按观测波段分为光学天文、射电天文和高能天文等分支。光学天文是最早的传统观测手段。然而，随着二战中雷达技术的兴起以及高空气球或火箭探测的尝试，射电天文和高能天文自上世纪中叶开始逐渐活跃于天文学的前沿。这三大天文领域获取的天体信息互为补充，且对技术和社会的推动也不尽相同。从表1可见，再高深的科学目标也只有物化到“电路板”上才可能达到，也才能有效地推动技术创新、促进产业升级。三类天文观测都高度依赖机械自控等“机电一体化”。无疑，大型天文望远镜是高新技术的“竞技场”。

四百多年前，望远镜在荷兰的一个小镇被眼镜师所发明。伽利略自制望远镜指向星空，特别是木星及其周围的卫星系统，表明地球并不是这个体系的中心。这有力地支持了哥白尼的“日心说”。时至今日，望远镜的设计、建设和运行越来越复杂和高端，成为国家孕育技术创新的平台。建国之前，我国的望远镜乏善可陈。1989年投入运行的2.16米口径的光学望远镜是个里程碑。由于国力不济，各类天文望远镜尽管后续有所发

展，但跟国际先进水准相比仍然存在显著差距。可喜的是，随着近年来的经济发展和国际交流，我国正筹划、建设和运行若干国际一流的大型望远镜。

天文望远镜跟太空科技的关联至少体现在如下两个方面。

一方面，太空飞行设备的指令上传和数据下传往往借助天文望远镜来完成，以实现地面与太空之间的成功通讯。正如日常生活中人们利用无线电（手机）信号交流，太空与地面之间的通讯往往也是利用射电波。虽然雷达天线也能起这样的作用，但是射电望远镜具有比雷达更灵敏和精确的性能，能够发送和获得高质量的数据。

射电天文取得的科学成就为相关技术的发展推波助澜。众所周知，上世纪60年代的射电天文“四大发现”（类星体、星际分子、微波背景辐射和脉冲星）至今仍是天体物理学者们研究的热点。射电天文取得如此耀眼的成果其实并不奇怪，天文观测可以泛泛地看作星际通讯，而无线电波是最经济的信使。利用全球射电天文望远镜运行至今所接受的总能量甚至翻不动一张纸。正如全球通过无线电波通讯进入了信息时代，射电波当之无愧地成为人类认识宇宙的关键窗口。射电天文发展的背后靠的是日新月异的电子学技术。反过来讲，要让无线电技术再上一个台阶还需借助射电天文来引领。如今，我国无线电技术阶跃性的提升尤为紧迫，涉及社会（电子产业）、国防（防控识别）甚至军事（空中预警）等领域。2016年7月，我国在贵州建成了全球最大单口径望远镜（FAST，如图1），这昭示着射电天文全面发展的美好明天。

表1 三类天文观测比较

观测类型	观测波段	所携带的主要天体过程信息	依赖的高新技术
光学	可见光	热辐射（例外：致密天体的全波段非热辐射等）	光学
射电	无线电波	非热辐射（例外：微波背景辐射等）	电子学与通讯
高能	X/γ射线	非热辐射（例外：中子星热辐射等）	核电子学

谈起射电天文望远镜，不得不提及如今国际合作研制的平方公里射电阵（SKA）。它将是世界上最大、最灵敏的射电望远镜阵，台址位于南非和澳大利亚境内。它灵敏度极高，能检测到距离地球数十光年远的行星上机场雷达，分辨率高于哈勃太空望远镜的50倍。SKA代表了人类信息技术的最高水平，其建设和运行将全面挑战现有电子学技术。若中国成功参与SKA，有望带动我国电子、信息、微弱信号检测与处理等若干领域的技术发展，并储备服务于国家安全的技术。

另一方面，为得到更高质量的测量数据，天文学家还在太空建设望远镜。这些天文设备的建设和运行代表太空科技的发展水平。固体地球表面以上存在大气层，不同波段的电磁辐射被大气层吸收的程度有差异。有三个频段内的光子被大气层吸收较弱，这些波段称为“大气辐射窗口”（包括光学窗口、红外窗口和射电窗口）。若要探测这三个波段之外的电磁辐射就不得不通过卫星、火箭或高空气球等实现。例如最典型的高能X/ γ 射线的测量，其理想的方式是在太空飞行器上实施。不过，即便于大气辐射窗口内（如可见光波段）观测，为了避免大气层湍动对天体影像的干扰，在外太空测量也具有优势。这些应用于天文学研究的人造卫星又称为“太空望远镜”。例如，美国哈勃太空望远镜是在近地轨道上运行的口径为2.4米的光学望远镜，国际上在轨工作的X

图1 建于贵州省平塘县的五百米口径射电天文望远镜（FAST）

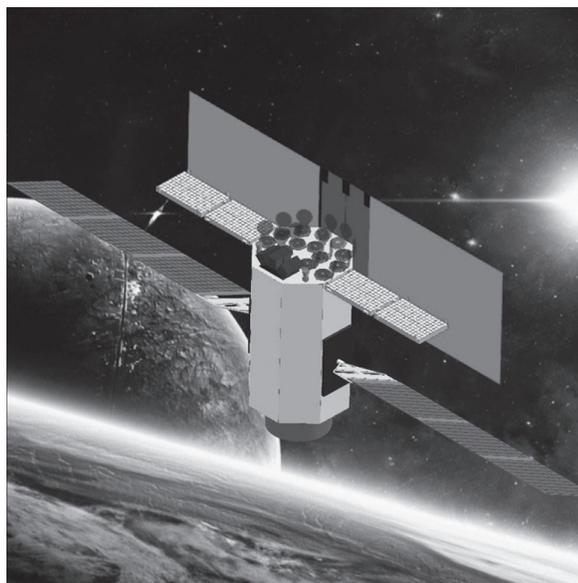


射线望远镜钱德拉卫星和牛顿卫星分别由美国、欧洲主导研制。

随着国力的上升，我国“十一五”太空科学发展规划列入“硬X射线调制望远镜”（HXMT）。这是我国自主研制的第一颗太空X射线望远镜，计划2017年上旬发射升空，用于观测黑洞和中子星/脉冲星等极端天体的表现。可喜的是，积累了HXMT的研制与观测经验之后，我国考虑联合欧洲研制增强型X射线计时和偏振（eXTP）望远镜（图2）。eXTP将是中国主导的X射线天文研究平台，它不仅拥有更好的性能来记录宇宙X射线，而且将通过跟国际高能天文研究接轨培养一支有竞争力的年轻一代X射线天文学家。类似于HXMT，eXTPs的科学目标将研究强引力、高密度以及强磁场等情形下的物理规律，拓展人类关于深层次物理规律在大尺度上表现方面的知识。如果计划顺利，eXTP将于2025年前升空，成为国际上先进的在轨运行X射线望远镜。显然，以HXMT和eXTP为代表的太空天文卫星的研制和运行跟太空科技实力的整体发展密不可分。

除了地空通讯和太空观测以外，包括卫星轨道动力学、行星科学、太空碎片监测等太空科技离不开天体力学这个传统的天文学领域，望远镜

图2 增强型X射线计时和偏振（eXTP）望远镜示意图



观测也不可缺少。诚然，天文学这些属性使得任何一个大国在经济发展到一定程度后都会重视它的发展。这是大国走向强盛的必由之路。

脉冲星科学与工程

以上分别讨论了天文学和望远镜，在此一部分笔者拟占些篇幅讨论自己长期关注的脉冲星科学与工程及其跟太空科技的关联。

脉冲星为大质量恒星演化至晚期通过超新星爆发后而遗留的残骸，以极端物理环境（高密度、强电磁场和引力场等）而著称。它的存在，不仅有助于理解宇宙中丰富而有趣的天文现象，而且是研究基本物理规律的关键场所，并会协助人类打开纳赫兹引力波天文观测窗口。除了这些科学意义外，脉冲星研究还具有时频和导航等应用价值。鉴于此，脉冲星是包括FAST、HXMT、eXTP以及平方公里射电阵（SKA）等国内外的大型地面或太空望远镜的核心科学目标，受到相关领域从科学家到工程师人群的普遍青睐。

脉冲星看似一类非常简单的天体，它们不停地旋转，其辐射各向异性使得我们观测到周期性的脉冲信号（倒是有点类似航海“灯塔”）。然而，就是如此简单的一种天体，却非常重要。在基础科学方面，脉冲星研究能有效地提高我们关于引力（涉及时空的结构）和强力（强相互作用的非微扰行为）的认识，这对于理解自然力的起源和本质意义匪浅。在工程技术方面，脉冲星被看作具有战略意义的“天然时钟”。通过脉冲星观测与研究，人们正努力实现关乎社会长远发展的两大目标：改进时间频标基准和自主导航近地（或深空）飞行器。其中后者成功与否，无疑将深刻地影响未来太空资源的开发与利用。

具体而言，脉冲星科学主要体现在理解强力的非微扰属性、检验各种引力理论和探测纳赫兹引力波等方面。下面具体阐述。

第一，了解强力的非微扰行为。构成脉冲星物质的密度比水高 10^{14} 倍以上，这种致密物质状态跟夸克之间的相互作用行为有关。我们知道，描述夸克之间基本强相互作用的理论体系是量子色动力学（QCD）。QCD有两个基本特征：高能标时渐近自由（因能作微扰论处理，所得理论结果已被很好地实验检验）但低能标下夸克却表现出较强的相互耦合（即非微扰效应，因其难以理论计算而未能像高能标情形那样被很好地实验检验）。要刻画脉冲星物质的状态，人们不得不考虑强力的非微扰效应。反过来，这也为我们利用脉冲星的观测现象认识低能QCD提供了一条天文学途径。

第二，检验引力理论。随着希格斯粒子的发现，描述自然界的电磁相互作用、强相互作用、弱相互作用的标准模型有了更坚实的实验基础。但是，人们对最先了解的引力的理解却存在着诸多困惑。标准模型与广义相对论存在不可调和的矛盾，至今尚缺少一个自治的引力量子化的框架。解决这一问题是人类面临的重大挑战，而途径之一是更精确地检验各种引力理论。脉冲星双星系统（包括脉冲星—中子星、脉冲星—白矮星、脉冲星—黑洞等）具有较强的引力作用，人们可以通过精确测量双星轨道运动参数来检验包括爱因斯坦广义相对论在内的若干引力理论。尽管至今未发现观测结果显著偏离爱因斯坦广义相对论的预言，但人们在越来越高的精度上继续实验检验。

第三，探测纳赫兹引力波。一百年前爱因斯坦广义相对论预言引力波，它可形象地看作弯曲时空中的涟漪。美国正在运行的地面激光干涉仪对千赫兹的高频引力波敏感，已经成功地探测到13亿光年远质量分别约为太阳质量36和29倍的双黑洞并合过程中释放的引力波。类似于电磁波，不同频域的引力波探测方式也存在较大差异。脉冲星阵（PTA）是测量纳赫兹引力波的重要手段，它通过长期监测若干颗脉冲星的脉冲精确到



达时间并分析其中的关联性来实现。此外，PTA也是构建地面脉冲星时间标准的工具。

实际上，脉冲星的科学与应用研究紧密相关，都以精确测量脉冲到达时间为基础。为了达到这一目标，高性能的地面或太空望远镜是必要的。比如，为了降低统计误差、提高脉冲到达时间的测量精度，脉冲星导航的前提之一是获得足够高的X射线计数率，这就需要探测器能够有效记录X射线。

保罗·肯尼迪在《大国的兴衰》一书中有言，“现代国家的硬实力建立在科技与工业基础之上”。值得注意的是，科学发展影响技术和工业的具体模式随着时代而变迁。众所周知，原子核是人类认识微观世界的一个重要层次。上世纪40年代前后核物理学进入大发展时期，其应用研究深刻地改变了人类的战争史、文明史以及能源观。如今，太空作为重要的战略资源，其开发的程度体现国家的综合竞争力。半个多世纪后的今天，人们似乎正在将关注的目光从原子核转向脉冲星。

小结

作为最古老的自然科学之一，天文学在中华民族崛起之时将焕发新的活力。它不仅是认识自然、建立正确世界观的重要途径，而且以相关大科学工程为平台引领科技创新。天文测量没有最精密，只有更精密；科学技术没有最尖端，只有

更尖端。在大国崛起过程中，天文学无论在“虚”还是“实”的方面所扮演的角色均无可替代。关于眼下天文学科的发展，有两点值得讨论。

一是关于国际合作。天文学是高度国际化的学科，但无论科学还是技术的合作都应该严肃评估其推动国内技术和产业的可能性。我国高铁和大飞机的发展历史就是值得借鉴的成败经验。铁路和空运在我国都有广阔的市场。在短短十来年的时间内，高铁能够融会多国技术而“后来居上”并成为中国的“名片”，靠的是以国际合作助推自身研发从无到有、从低到高。若无研发之本，高铁也必如“大飞机”那样至少一段时间内停留在购置引进阶段。

二是关于教育。过去经济上的落后导致天文学科发展迟缓，人才培养和储备也不理想。随着若干大型望远镜的国内主导和国际参与，大家都意识到推广大学天文教研的紧迫性。教育是个系统工程。一个国家未来十年的科学竞争力很大程度上取决于如今刚获得博士学位的研究队伍；二十年后的社会活力掌握于目前在读的大学生和研究生手里；三十年后的中坚力量正在接受我们为他们设计的初等和中等教育。然而，当今的教育环境不容乐观。中等特别是高等教育应该鼓励兴趣驱动而不是功利驱动的，后者不可避免地导致教育资源配置的浪费和失衡。只有具备了健康有序的教育系统，我国巨大的人力资源潜力才会得以释放。

责编 / 郑韶武

China Rises with Its Space Exploration and Development Capability

—The Profound Social Significance of the Current Development of Astronomy

Xu Renxin

Abstract: Space is an important strategic resource; the degree of its development reflects a country's comprehensive competitiveness. As one of the six basic disciplines of natural science (mathematics, physics, chemistry, astronomy, geography and biology), astronomy was created at the very time human civilization began. Compared with other basic sciences, astronomy is a "small discipline" but a "big science" and is the "aristocrat's game". Due to the increased economic strength, China's astronomical disciplines will flourish in the years to come. This paper expounds the social significance of astronomy from the aspects of science and telescope equipment, especially its key role in the process of the rise of great powers. It also discusses the relationship between astronomy and space science and technology, especially the promoting role of pulsar research in space science and technology.

Keywords: Astronomy, Astronomical Telescope, Rise of Great Power, National Rejuvenation