

从阿雷西博到中国天眼射电望远镜： 工业革命的接力

张承民^{1,2,3}, 崔翔翰^{1,2,3}, 杨佚沿⁴, 王德华⁵

1. 中国科学院国家天文台, 北京 100101
2. 中国科学院大学物理科学学院, 北京 100049
3. 中国科学院FAST重点实验室, 北京 100101
4. 贵州师范学院物理与电子科学学院, 贵阳 550018
5. 贵州师范大学物理与电子科学学院, 贵阳 550025

摘要 阿雷西博 305 m 口径射电望远镜在中国天眼 (FAST) 建成以前, 曾经是世界最大的地面天文学装置, 它创造了多项世界第一, 例如参加阿波罗登月计划, 发现首个地外行星, 首次发现脉冲星双星系统并间接证实爱因斯坦预言的引力波存在, 精确测定水星转动周期, 实施雷达精确研究地球电离层的无线电传输特性等。阿雷西博于 2020 年 12 月意外倒塌, 震惊了全世界。探究其建设背景和意义、取得的主要成就, 对比中国大科学工程 FAST 的特色之处, 介绍 FAST 的创新设计、工程建设方面的特点和科学探测上取得的主要成果, 借此窥视中国科技的前进步伐。从科技史角度提出, FAST 作为第四次工业革命的产物, 预示着一个新时代的来临。

关键词 射电望远镜; 中国天眼; 阿雷西博; 工业革命

在中国天眼 (FAST) 建成以前, 世界最大的 305 m 单口径射电望远镜阿雷西博 (Arecibo Radio Telescope) 一直独领风骚^[1-2], 然而阿雷西博于 2020 年 12 月 1 日意外倒塌, 震惊了世界。当时, 由于台风的破坏和维修处理的滞后等原因, 阿雷西博望远

镜支撑塔与链接接收机馈源系统的钢缆断裂, 悬吊在空中的 900 多 t 接收设备平台全部坠落, 将望远镜的反射面彻底砸烂摧毁, 造成可谓人类科技史上的重大灾难。阿雷西博曾作为美国阿波罗登月计划的重要部分, 参与无线电信号的传输与通信, 被评

收稿日期: 2021-01-02; 修回日期: 2021-02-04

基金项目: 国家自然科学基金天文联合基金项目 (U1938117, U1731238), 贵州省科技计划项目 (黔科合基础 [2020] 1Y019), 贵州师范学院博士课题 (2020BS021)

作者简介: 张承民, 研究员, 研究方向为脉冲星与中子星天体物理, 电子信箱: zhangcm@bao.ac.cn

引用格式: 张承民, 崔翔翰, 杨佚沿, 等. 从阿雷西博到中国天眼射电望远镜: 工业革命的接力 [J]. 科技导报, 2021, 39(11): 9-15; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2021.11.001

为人类 20 世纪十大科技工程之首。自 1963 年建成之后,57 年间阿雷西博创造出诸多世界第一,被誉为美国的光荣与梦想,然而这一切竟成为历史遗憾。

1 阿雷西博射电望远镜:美国科技战略

天文学设备对人类探索星空具有重要意义。意大利天文学家伽利略于 1609 年首次使用光学望远镜仰望星空,开启了人类借助科技装置探索宇宙的新纪元。它扩展了人类肉眼的视野,使人类认识宇宙天体的能力获得革命性提升。天文学的发展直接推动了欧洲文艺复兴,使人类对天体有了全新认识,包括太阳、地球、月亮和行星的关系,由此引发的工业革命让人类文明走上了科技主导的航程。尤其在 20 世纪,人类探索宇宙的工具大幅度增加,而其中射电望远镜的使用,使人类的目光指向宇宙百亿光年的遥远距离。光学与射电都属于电磁波,简单地说,两者区别在于波长不同:一般光学波长约在几百纳米,而射电观测波长约在几十厘米。宇宙的天体和背景普遍存在射电辐射,但有些源在光学波段辐射可能非常微弱,所以射电探测宇宙大有作为;另外,射电天文学装置与无线电(波长约在毫米到千米)通信设备和技术是紧密相关的,所以欧美发达国家竞相投入射电天文学研究。

天文学家认识到,望远镜接收面积与接收信号的强度和灵敏度相关,然而超过 100 m 口径的移动式抛物面射电望远镜的工程建设存在诸多技术瓶颈。于是,美国天文学家在 1958 年开始构想在波多黎哥的喀斯特漏斗地形建设大型固定的射电望远镜,1963 年建成了阿雷西博望远镜(图 1),口径达到惊人的 305 m。阿雷西博望远镜的反射面“躺在”洼地固定不动,它通过地球自转和移动接收机观测不同星空区域的天体信号。

阿雷西博构想始于 1958 年,正值美苏冷战白热化时期,两个超级大国在全球范围的陆地、海洋、空间全方位展开立体的军备竞赛和世界霸权争夺,而雷达通信科技可谓是制高点的制高点。1957 年 10 月,苏联向太空发射第一颗地球人造卫星,宣告空间时代的来临;美国不甘示弱,于 1958 年 2 月也



图 1 阿雷西博望远镜倒塌前后

成功发射了一颗卫星,开始了奋力追赶。1958 年 7 月,美国总统艾森豪威尔签署了《美国公共法案 85-568》(即《美国国家航空暨太空法案》),正式成立美国国家航空航天局(NASA)。1959 年 1 月,苏联的“月球一号”探测器首先掠过月球,于是美国也在 1959 年提出了“奔月”的设想,即阿波罗登月计划的雏形。1961 年 4 月,苏联宇航员尤里·加加林乘坐“东方一号”宇宙飞船进入太空,不到 1 个月,美国宇航员阿兰·B·谢巴德也飞上太空。接着 1961 年 5 月美国总统肯尼迪正式宣布,10 年内将把美国人送上月球,这就是著名的阿波罗登月计划。美苏两国高层认识到,谁掌握太空,谁就控制未来世界,而航天器与地面联络需要无线电通信与雷达系统,这些军事国防科技与射电天文学研究不谋而合。20 世纪 70 年代,无线电传输大多是通过地球电离层的反射实现对大气层内的通信或是探测;而要进行大范围多频段的外太空通信,确立全球定位导航系统,必须要进行无线电通信革命。所以阿雷西博的建设很大程度上肩负了美国突破国防科技壁垒、占领高科技制高点,追赶并超越苏联而掌握冷战主动权的战略使命。

另外,第二次世界大战之后美苏两国将很多用于探测侦察的军事雷达设备投入到科学研究,所以射电天文相关的探测技术也随之逐渐成熟,射电天文学借此得到了蓬勃的发展,与此同时欧洲、美国、澳大利亚等国家和地区也建设了一批专门用于天文学研究的射电望远镜。美国此时急需一个大型射电望远镜,一来引领国际学术研究的前沿^[3-4],二来配合空间无线电通信与雷达侦察,因而阿雷西博应运而生。二战后的美国,由于本土没有受到大规模袭击,所以工业体系保存很完整,这对于阿雷西博的建设十分重要。然而,面对冷战时期苏联的挑战,美国必须对国内的工业体系进行技术更新,需要实施一个大科学工程,以全面引领工业体系的升级并拉动高科技研发进程提速,所以阿波罗登月与阿雷西博射电望远镜配套互动是美国一个最佳科技战略组合。

2 阿雷西博设计结构及与中国天眼的区别

阿雷西博与中国天眼的设计结构非常相似^[2],口径分别是 305 和 500 m,支撑塔分别是 3 个和 6 个。大面积反射面提升了 FAST 灵敏度,而多支撑塔使其更加安全稳定。分析一下两者的工作原理,可看到中国科技进步的步伐,体会到 FAST 独立自主创新的理念。

2.1 完整喀斯特地形作为台址

阿雷西博地处波多黎各喀斯特地貌的灰岩坑,这为建造一个巨大的单体射电望远镜提供了完美的场所,此外由于波多黎各经济发展相对落后,所以在 20 世纪 50 年代时,电磁环境干扰较美国本土优越。寻找天然的喀斯特地形作为大型望远镜的台址,是因为巨大的望远镜是精密的无线电科技设备,需要周边地质环境稳定,周围的无线电杂波干扰被遮挡,地下透水性能要好而避免水淹,喀斯特正好满足这些刻薄的条件。作为对比,FAST 地处中国云贵高原,这里喀斯特地形发育极其完整,地质条件优于阿雷西博台址的环境,是世界上最好的大型单口径望远镜台址候选地。另外,贵州经济处

于国内发展滞后地区,大科学工程建造成本低,且贵州山区的无线电环境非常安静,干扰较少,易于保护。因此,贵州的硬件条件可谓得天独厚,而美国缺少完整的喀斯特地貌,望尘莫及。

2.2 主动变形的反射面系统

阿雷西博反射面是固定球面,这使得其反射的电磁波不能自动聚焦,美国天文学家设计了一套附加系统,在远离反射面的高空处增加一个二次反射系统,然后将接收的信号汇聚到焦点,这导致阿雷西博悬挂的接收馈源系统异常庞大而笨重,重量达 1000 t。如此重量的馈源系统由 18 根钢缆悬挂在周围的 3 个支撑塔上,这就让钢缆疲劳问题变得突出。当望远镜遭遇台风袭击时,如果馈源没有及时收回,那么软伤劳损就会发生,随着时间推移,出现断裂事故的风险加大。这次阿雷西博的支撑塔倒塌坠落就与 2020 年 8 月的台风有关,那次已经造成一根钢缆断裂,后续维修不及时导致 2020 年 12 月 1 日大规模断裂倒塌,造成无法挽回的后果。FAST 在设计之初,已考虑到阿雷西博的缺陷,所以支撑塔有 6 个,增加了安全系数。FAST 最突出的创新表现在其望远镜结构非常灵巧,将反射面设计为可以变形的 4450 块可动面板,通过面板位置调整实现聚焦,直接将球面变成瞬时抛物面,使得接收馈源的重量大大减轻,只有 30 t。当时南仁东等 FAST 早期建设者认识到,如果 FAST 的结构模仿阿雷西博,那么其馈源接收系统的重量将高达 3000 t,这是一个无法准确进行移动操作的庞然大物,因此必须寻找其他巧妙的设计方案,以减小支撑系统的压力。主动反射面的学术探索由邱育海研究员在 1998 年开始进行^[5],基于这个初始想法和进一步优化构想,后续进行了大量仿真模拟和各种实验验证,FAST 馈源接收设备最终质量减轻,达到 30 t^[6-7]。

2.3 人工智能用于馈源接收机系统

阿雷西博望远镜是固定望远镜,不能像抛物面雷达转动自身面板,它只能通过改变接收机馈源的位置来扫描天空中的一个带状区域,并由地球自转漂移扫描星空,其范围不是非常广泛,约为天顶角 20°,即在阿雷西博地理位置的天顶南北 10°内有效观测。一旦超出这个范围,则观测效率降低甚至接

收不到天体信号。来自宇宙的射电信号汇聚到接收机系统,该系统由钢缆悬挂,再由周边支撑塔固定链接。反观FAST,不仅馈源接收机系统的质量大大减轻,只有30 t,而且其中还安装了稳定减震的Stewart平台并联机构,减少了望远镜测量换源移动引起的不稳定晃动。对准天体观测时,要求馈

源位置处于望远镜的瞬时焦点,所以反射面板的调整与馈源钢缆的变化需配合完成,这需要一套人工智能的大数据解算来确定。由于FAST这些优化设计,使其观测天顶角达到 40° ,相当于阿雷西博的2倍,提升了星空观测覆盖面积,增加了新天体发现的概率。阿雷西博与FAST的对比见表1。

表1 阿雷西博与FAST台址条件及结构性能对比

	比较内容	阿雷西博	FAST
台址条件	所处位置	美国波多黎各	中国贵州
	地质条件	海滩岩	三叠纪灰岩
	地震风险	存在	稀少
	自然灾害	飓风	稀少
结构性能	口径/有效半径/m	305/225	500/300
	馈源支撑	桁架和导轨	六索驱动智能平台
	反射面特征	固定发射面	主动反射面
	工作频率/GHz	0.05~10	0.07~3
	天顶角/ $^\circ$	20	40
	连续跟踪时长/h	2	4
	支撑结构质量/t	900	30

除了上述区别,阿雷西博还具有雷达的电磁波发射功能,可进行弹道导弹跟踪等一系列国防计划;而FAST只能被动地接收信号,全部进行科学研究,因此阿雷西博的实用功能多于中国天眼FAST。

3 阿雷西博的主要成就

阿雷西博望远镜自从1963年建成,其发现成果众多,主要包括以下9项。

1) 1965年测量水星的自转周期为59 d。借助阿雷西博望远镜的雷达天文学测量,首先更正了水星的自转周期为59 d,这区别于其公转周期88 d,这一测定结果解决了关于水星表面温度的争议:如果水星类似于月球,其公转周期与自转周期的大小相等,在相对运动过程中,只有同一面能接受太阳光照射,必然导致背对太阳一侧的表面温度比正面低。然而,水星表面的温度测量结果显示出其均匀性,所以不符合上述情况。

2) 1968年测量出蟹状星云的脉冲星周期为33 ms。首次于1967年发现脉冲星时,学术界争议不断,不能分辨其中心天体的本质特性,当时科学

家提出各种猜想,包括“小绿人”之类的外星人信号、能脉动的白矮星、超新星爆发后塌缩而成的中子星。次年,经阿雷西博望远镜对蟹状星云中心射电的观察证实,存在每间隔33 ms闪烁1次的信号,且闪烁频率比白矮星的脉动节奏快,这一观测现象支持脉冲星是快速旋转中子星的观点。

3) 1974年发现第一颗双星脉冲星,首次观测到引力波的间接证据。拉塞尔·赫尔斯(Russell A. Hulse)和约瑟夫·泰勒(Joseph H. Taylor)用阿雷西博望远镜于1974年观测到了第一颗双中子星系统PSR J1913+16^[8],因其轨道偏心率略大,被称为相对论性双星,通过观测其近星点的变化和轨道收缩研究引力辐射,观测间接证实了广义相对论的预言。多年的追踪观测表明,PSR J1913+16存在轨道收缩现象,并且其轨道收缩速度与引力波的预言相当吻合。这一研究成果使拉塞尔·赫尔斯和约瑟夫·泰勒荣获1993年诺贝尔物理学奖。

4) 探寻地外文明。1974年,阿雷西博望远镜向球状星团M13发射了一系列二进制代码信息,称为“阿雷西博信息”,其中详细记录了人类的DNA结构、人体简图、太阳系结构和阿雷西博望远镜本

身信息。这条信息发向一个约有 30 万颗恒星的星团,距离地球约 2.5 万光年。另外,阿雷西博望远镜也一直参加监测地外文明发来的信息,遗憾的是至今仍然没有接收到任何地外生命的反馈迹象。

5) 1981 年绘制了第一幅金星表面的雷达图谱。金星表面笼罩着厚厚的云层,阻碍了光学以及其他波段望远镜的观测,而阿雷西博望远镜的雷达波束却可以穿透薄雾到达地表并反射回来,从而能精确绘制出金星表面地形。金星的雷达图像显示其地质构造中存在火山活动的迹象。此外,阿雷西博望远镜还利用其雷达波束的穿透特性,相继发现并记录大量近地小行星的一系列特征,例如互相环绕的太空岩石、三体岩石组等,这为认识和了解近地小行星的特征和运动规律提供了丰富的第一手观测资料。

6) 1982 年发现第一个毫秒脉冲星。阿雷西博望远镜于 1982 年探测到一颗被吸积物质加速到毫秒周期的脉冲星——PSR J1937+21,自转周期为 1.6 ms,这在当时已经成为探测到的自转速度最快的脉冲星。起初,这一发现使得脉冲星领域的相关理论陷入困惑,因为 PSR J1937+21 要早于蟹状星云脉冲星的诞生,其年龄更大;当时学术界主流观点认为脉冲星的年龄越大,旋转速度越慢。毫秒脉冲星的发现促使人们对脉冲星在双星系统的吸积理论重新认识,即这些年老的脉冲星可以通过吸积获取伴星物质从而加速到毫秒量级旋转。

7) 1990 年发现了第一颗太阳系外行星。20 世纪 90 年代初期,阿雷西博望远镜升级改造,大幅提高了观测精度和探索能力。1990 年,阿雷西博望远镜发现一颗新的太阳系外脉冲星——PSR B1257+12,并伴有 3 颗环绕其运行的行星,这是人类第一次发现太阳系外的行星,同时意味着行星在宇宙中应该是普遍存在的,这一发现也让研究者成为一时的热点人物。此后,天文学家利用光学望远镜发现数千颗系外行星围绕相应的恒星运转。需要说明的是,PSR B1257+12 仍然是极少数的伴脉冲星的行星系统。

8) 1992 年在水星的南北两极探测到冰。因水星距离太阳太近,一般认为不太可能存在水和冰。

但阿雷西博望远镜在 1992 年前后的观测暗示,冰可能埋于水星两极的环形山中,这一观测结果被随后的 NASA 信使号飞船证实。

9) 捕捉到重复的快速射电暴(FRB)。FRB 是在射电波段探测到的一种短暂的爆发现象。首个重复 FRB 代号是 FRB 121102,阿雷西博望远镜分别在 2012 和 2015 年捕捉到其爆发信号。不久前,FAST 也观测到其 FRB 信号。重复 FRB 的发现拓展了天文学家对其本质的理解,例如其起源的方式,这从根本上否定了 FRB 起源于一次性的恒星碰撞结果。重复 FRB 的捕捉提供了更多的物理信息,使追踪定位其寄主星系成为可能,为进一步研究和了解 FRB 的本质提供了契机。

在已知的 3300 颗射电脉冲星发现过程中,阿雷西博的贡献不及澳大利亚的帕克斯 64 m 口径望远镜^[9],这是因为后者地理位置处于南半球,而地处北半球的阿雷西博的视野狭窄。尽管阿雷西博在发现脉冲星方面数量偏少,但在脉冲星精准测量方面,阿雷西博独具特色并长期处于世界领先地位。

4 中国天眼:第四次工业革命的接力

通过上述阿雷西博与 FAST 的比较,可以认识到,两者区别不仅仅在于大小和形状,而是技术和设计理念有较大不同。美国构想建设阿雷西博的时间是 20 世纪 50—60 年代,而 FAST 构想在 21 世纪初期成熟,年代相差半个世纪,分别对应第三次工业革命的中程与第四次工业革命的开始。所以从阿雷西博到中国天眼(图 2),中国科技界正在实施完成工业革命的接力。由于阿雷西博建设得太早,那时候大型精密机械结构、光机电技术、计算机和大数据还没有成熟,所以当时条件下阿雷西博是那个时代的科技奇观、令人赞叹;而 FAST 建设之时已经进入 21 世纪初,中国已经具备成熟而完备的工业体系和科技研发队伍,还有阿雷西博建设经验和其他国际大型科技装备的借鉴,这时计算机和信息技术的发展也趋于完善^[10-12]。一言以蔽之,阿雷西博与 FAST 是两个工业革命时代的代表作品,两者隐含着半个世纪人类知识积累的差距。在阿雷

西博倒塌之后,美国为什么不去设计并建设一个FAST类射电望远镜?就原理和科技能力来说,美国建设FAST类射电望远镜没有问题,但在什么地方选择地址是个大问题。阿雷西博地处加勒比海的波多黎各岛屿,那里的喀斯特地貌发育不是非常完整,台风、地震和无线电干扰风险巨大,且美国本土也没有云贵高原的优越地质条件,所以对重建更大单口径望远镜慎之又慎。

当前,FAST(图2)科学目标正逐步实现,近期已取得了非常突出的发现成果。FAST探测到了接近300颗新脉冲星,包括发现脉冲双星“黑寡妇”、具掩食现象的毫秒脉冲星双星系统;探测到FRB,获益于FAST的高灵敏度,通过研究FRB180301的偏振特性,提出FRB可能来源于致密天体磁层中的物理起源^[13-15]。对银河系中产生FRB的磁星深度观测,分析研究后给出了射电脉冲流量的最强限制,同时暗示了磁星产生FRB具备选择性^[16]。还有,探索地外文明(SETI)作为FAST的科学目标之一,相应的SETI研究已经启动。通过分析FAST望远镜对地外文明观测的实际数据,排除干扰因素,筛选出可疑的地外文明发出的信号,受限于目前的技术手段,诸多候选者仍然无法甄别,进一步的研究正在进行中^[17-18]。



图2 中国天眼——世界最大射电望远镜

5 结论

回顾往昔,中国天眼在工程建设和科学产出两方面成功的奥秘在于天时、地利、人和、中国社会制

度的优越,再加上以南仁东为首的FAST团队肩负民族重任、勇于担当、锲而不舍、敢于超越、独立自主、自力更生,为实现中国百年梦想而甘于奉献并勇于牺牲。归结中国对比西方国家的独特优势,在于人群广泛支持,科学技术潜力具备,中国工业体系精良完整,中国组织管理系统高效4个方面。展望未来,中国天眼FAST仰望天空,不仅开启了宇宙奥秘探索的新时代,也帮助中国人找回了中国科学与文化自信以及道路自信,使全世界重新认识到中国对人类科技文明无法替代的贡献。诚然,中国科学研究跨入一个伟大的新时代,正在实现中国百年梦想的征程上,而中国天眼FAST有幸担起和承载了中华民族复兴的新使命。

站在500年历史的交汇点,试回答科技史学家李约瑟的困惑。中国唐宋的古代科技应用领先世界,为什么没有孕育现代科学体系?从中国古代科技的全球传播到现代西方文明体系的构建,从阿雷西博到中国天眼,东西方文明的互动难道不是一次人类共同知识创造的接力?500年前,麦哲伦的远洋舰队踏上环球探险的征途,而今500m望远镜在中国开始了宇宙深空的探索。从500m到500年,岂非穿越时空的历史注目礼?

借问屈原之《天问》:“圜则九重,孰营度之?惟兹何功,孰初作之?”

阿雷西博沉睡了,那是一个时代的终结;中国天眼醒来了,预示着一个新时代的来临,一个中国时代。

致谢 在文章撰写过程中,汲取了大量天文学同行和FAST同事的讨论结果,特别是Richard Strom(李查德)、邱育海、彭勃、李建斌、聂跃平、朱博勤、王启明、朱丽春、张海燕、朱文白、李辉、金乘进、李蒞、姜鹏、朱明、岳友岭、钱磊、吴鑫基、乔国俊等的见解。

参考文献(References)

- [1] The Arecibo Observatory[EB/OL]. [2020-12-31]. <http://www.naic.edu/ao>.
- [2] 500米口径球面射电望远镜[EB/OL]. [2020-11-30]. <http://fast.bao.ac.cn>.
- [3] Lyne A, Graham-Smith F. Pulsar astronomy[M]. Cam-

- bridge: Cambridge University Press, 2012: 26.
- [4] Lorimer D R, Kramer M. Handbook of pulsar astronomy [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2012: 30.
- [5] Qiu Y H. A novel design for a giant Arecibo-type spherical radio telescope with an active main reflector[J]. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 1998, 301(3): 827-830.
- [6] 南仁东. 500 m 球反射面射电望远镜 FAST[J]. 中国科学: 物理学·力学·天文学, 2005(5): 3-20.
- [7] Peng B, Nan R, Su Y, et al. Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope project[J]. Astrophysics & Space Science, 2001, 278(1/2): 219-224.
- [8] Hulse R A, Taylor J H. Discovery of a pulsar in a binary system[J]. Astrophysical Journal, 1975, 195(15): L51-L53.
- [9] 吴鑫基. 帕克斯射电望远镜与脉冲星巡天发现——纪念脉冲星发现 50 年[J]. 科学, 2017(6): 43-49.
- [10] Li D, Wang P, Qian L, et al. FAST in space: Considerations for a multibeam, multipurpose survey using China's 500-m Aperture Spherical Radio Telescope (FAST) [J]. IEEE Microwave Magazine, 2018, 19(3): 112-119.
- [11] 张承民, 杨佚沿, 支启军. 从宋代“客星”到中国“天眼”中的脉冲星——“李约瑟难题”试答[J]. 科技导报, 2018, 36(12): 15-21.
- [12] 闫振, 沈志强. FAST——脉冲星观测研究的利器[J]. 科技导报, 2017, 35(24): 16-19.
- [13] Pan Z C, Ransom S M, Lorimer D R, et al. The FAST discovery of an eclipsing binary millisecond pulsar in the globular cluster M92 (NGC 6341)[J]. Astrophysical Journal, 2020, 892(1): L6-L10.
- [14] Zhu W W, Li D, Luo R, et al. A fast radio burst discovered in FAST drift scan survey[J]. Astrophysical Journal, 2020, 895(1): L6-L12.
- [15] Luo R, Wang B J, Men Y P, et al. Diverse polarization angle swings from a repeating fast radio burst source[J]. Nature, 2020, 586(7831): 693-696.
- [16] Lin L, Zhang C F, Wang P, et al. No pulsed radio emission during a bursting phase of a Galactic magnetar[J]. Nature, 2020, 587(7832): 63-65.
- [17] Zhang Z S, Werthimer D, Zhang T J, et al. First SETI observations with China's Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope (FAST)[J]. Astrophysical Journal, 2020, 891(2): 174-189.
- [18] Li D, Gajjar V, Wang P, et al. Opportunities to search for extraterrestrial intelligence with the FAST[J]. Research in Astronomy and Astrophysics, 2020, 20(5): 78-89.

Radio Telescope from Arecibo to FAST: A relay of the industrial revolution

ZHANG Chengmin^{1,2,3}, CUI Xianghan^{1,2,3}, YANG Yiyang⁴, WANG Dehua⁵

1. National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China
2. School of Physical Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China
3. Key Laboratory of Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China
4. School of Physics and Electronic Science, Guizhou Education University, Guiyang 550018, China
5. School of Physics and Electronic Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550025, China

Abstract The Arecibo 305m-aperture radio telescope was once the largest ground astronomical device in the world before the Five hundred meter Aperture Spherical radio Telescope (FAST) being built. The Arecibo created many foremost achievements, such as joining the Apollo moon-landing Project, discovering the first extraterrestrial planet, discovering the binary-pulsar system firstly and indirectly proving the existence of gravitational wave predicted by Einstein, measuring the rotation period of the mercury accurately, and investigating radio transmission characteristics of earth's ionosphere accurately by radar. This paper tries to explore the background and significance of the construction and major achievements of the Arecibo, and briefly introduces the success of FAST in engineering construction and discoveries of early scientific exploration. Furthermore, it compares the features of the two telescopes, so as to survey the progress of Chinese science and technology. In terms of the FAST successful construction and operation and from the perspective of sci-tech history, FAST, as the product of the fourth industrial revolution, indicates the advent of a new era in China.

Keywords radio telescope; FAST; Arecibo; industrial revolution ●



(责任编辑 王志敏)