



科学文化工程  
公民科学素养系列

# THE SKY EYE

FIVE-HUNDRED-METER APERTURE SPHERICAL  
RADIO TELESCOPE (FAST)

中国大科学装置出版工程

## 观天巨眼

五百米口径球面射电望远镜  
(FAST)

南仁东 主编

浙江出版联合集团

浙江教育出版社



国家出版基金项目  
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中国大科学装置出版工程

# THE SKY EYE

FIVE-HUNDRED-METER APERTURE  
SPHERICAL RADIO TELESCOPE (FAST)

# 观天巨眼

五百米口径球面射电  
望远镜 (FAST)

南仁东 主编

浙江出版联合集团  
浙江教育出版社·杭州



## 图书在版编目(CIP)数据

观天巨眼：五百米口径球面射电望远镜(FAST) / 南仁东主编. — 杭州：浙江教育出版社，2018.12  
中国大科学装置出版工程  
ISBN 978-7-5536-8379-9

I. ①观… II. ①南… III. ①射电望远镜—研究  
IV. ①TN16

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第298548号

策 划 周 俊 莫晓虹  
责任编辑 高露露 江 雷 责任校对 戴正泉 余理阳  
美术编辑 韩 波 责任印务 陆 江

## 中国大科学装置出版工程 观天巨眼——五百米口径球面射电望远镜(FAST)

ZHONGGUO DAKEXUE ZHUANGZHI CHUBAN GONGCHENG  
GUANTIAN JUYAN—WUBAIMI KOUJING QIUMIAN SHEDIAN WANGYUANJING (FAST)

南仁东 主 编

出版发行 浙江教育出版社  
(杭州市天目山路40号 邮编:310013)

图文制作 杭州兴邦电子印务有限公司

印 刷 杭州富春印务有限公司

开 本 710mm×1000mm 1/16

印 张 10

插 页 2

字 数 200 000

版 次 2018年12月第1版

印 次 2018年12月第1次印刷

标准书号 ISBN 978-7-5536-8379-9

定 价 35.00元

网 址 [www.zjeph.com](http://www.zjeph.com)

如发现印装质量问题,请与承印厂联系。

联系电话:0571-64362059

## 本书编委会

主    编：南仁东

编    委：严  俊  郑晓年  彭  勃  张蜀新  王启明  
          李  菡  姜  鹏  李  颀  盘  军  王  宜  
          杨世模

编写人员：张海燕  钱  磊  孙才红  张承民  蔡文静  
          周爱英  金乘进  肖  莉  于东俊  赵  清  
          朱博勤  朱文白  朱丽春  朱  明  宋立强  
          吴明长  赵保庆  朱  明  潘高峰  李  辉  
          姚  蕊  岳友岭  张  博  陈如荣  刘博洋  
          杨  丽  刘  娜  谢嘉彤  朱  岩  刘鸿飞  
          高智胜

## 总 序

新一轮科技革命正蓬勃兴起，能否洞察科技发展的未来趋势，能否把握科技创新带来的发展机遇，将直接影响国家的兴衰。21 世纪，中国面对重大发展机遇，正处在实施创新驱动发展战略、建设创新型国家、全面建成小康社会的关键时期和攻坚阶段。

科技创新、科学普及是实现国家创新发展的两翼。科学普及关乎大众的科技文化素养和经济社会发展，科学普及对创新驱动发展战略具有重大实践意义。当代科学普及更加重视公众的体验性参与。“公众”包括各方面社会群体，除科研机构 and 部门外，政府和企业中的决策及管理者、媒体工作者、各类创业者、科技成果用户等都在其中。任何一个群体的科学素质相对落后，都将成为创新驱动发展的“短板”。补齐“短板”，对于提升人力资源质量，推动“大众创业、万众创新”，助力创新型国家建设和全面建成小康社会，具有重要的战略意义。

科技工作者是科学技术知识的主要创造者，肩负着科学普及的使命与责任。作为国家战略科技力量，中国科学院始终把科学普及当作自己的重

要使命，将其置于与科技创新同等重要的位置，并作为“率先行动”计划的重要举措。中国科学院拥有丰富的高端科技资源，包括以院士为代表的高水平专家队伍，以大科学工程为代表的高水平科研设施和成果，以国家科研科普基地为代表的高水平科普基地等。依托这些资源，中国科学院组织实施“高端科研资源科普化”计划，通过将科研资源转化为科普设施、科普产品、科普人才，普惠亿万公众。同时，中国科学院启动了“科学与中国”科学教育计划，力图将“高端科研资源科普化”的成果有效地服务于面向公众的科学教育，更有效地促进科教融合。

科学普及既要求传播科学知识、科学方法和科学精神，提高全民科学素养，又要求营造科学文化氛围，让科技创新引领社会持续健康发展。基于此，中国科学院联合浙江教育出版社启动了中国科学院“科学文化工程”——以中国科学院研究成果与专家团队为依托，以全面提升中国公民科学文化素养、服务科教兴国战略为目标的大型科学文化传播工程。按照受众不同，该工程分为“青少年科学教育”与“公民科学素养”两大系列，分别面向青少年群体和广大社会公众。

“青少年科学教育”系列，旨在以前沿科学研究成果为基础，打造代表国家水平、服务我国青少年科学教育的系列出版物，激发青少年学习科学的兴趣，帮助青少年了解基本的科研方法，引导青少年形成理性的科学思维。



“公民科学素养”系列，旨在帮助公民理解基本科学观点、理解科学方法、理解科学的社会意义，鼓励公民积极参与科学事务，从而不断提高公民自觉运用科学指导生产和生活的能力，进而促进效率提升与社会和谐。

未来一段时间内，中国科学院“科学文化工程”各系列图书将陆续面世。希望这些图书能够获得广大读者的接纳和认可，也希望通过中国科学院广大科技工作者的通力协作，使更多钱学森、华罗庚、陈景润、蒋筑英式的“科学偶像”为公众所熟悉，使求真精神、理性思维和科学道德得以充分弘扬，使科技工作者敢于探索、勇于创新的精神薪火永传。

中国科学院院长、党组书记

白春礼

2015年12月17日

## 前言

望远镜就是能将远方景物“拉近”到眼前，使人们能够看得清楚的一种仪器，普通的光学望远镜生活中经常能见到，通常由物镜、转向棱镜、目镜和镜筒构成，天文学家用天文望远镜来观测宇宙空间。1609年，意大利科学家伽利略（Galileo Galilei）用他自制的望远镜第一次指向星空，这一开创性的伟大壮举，开启了天文学观测的新时代。

光和广播电视信号都是以光速传播的电磁波，区别只在波长。千百年来人类只是通过可见光波段观测宇宙，而实际上天体的辐射覆盖整个电磁波段。1931年，卡尔·央斯基（Karl Jansky）意外发现了来自银河中心的电磁辐射，这为天文学翻开了新篇章，射电天文学诞生。这一新兴学科贡献了20世纪四大天文发现——类星体、脉冲星、星际分子和3K宇宙背景辐射，成为天文学重大发现的摇篮。来自太空的无线电信号极其微弱，为了获得更多宇宙天体的无线电信号，需要尽可能大口径的射电望远镜。但是由于镜身重力和风力等因素引起形变的限制，传统的可跟踪式望远镜最大口径只能做到100米左右。

25年前，中国一批怀有大射电望远镜梦想的天文学家就开始构想把



“大射电望远镜”建在中国。一年之后的1994年，成立了大射电望远镜中国推进委员会——这是当时，乃至现在都很少有人知道的一个执着的团队。而正是这个鲜为人知的委员会，将来自全国的20多家高校和科研院所的100多位专家聚集起来，完成了大射电望远镜关键性技术的可行性研究，并提出了我国独立建造一架世界最大单口径球面望远镜创新方案的初步设想。接踵而至的是选址地实地考察、关键技术的突破、方案设计、缩比模型的建设与验收等，最终他们提出了清晰的“500米口径球面射电望远镜(Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope, FAST)”计划。在不断推进的过程中，FAST终于在2007年立项。

500米口径球面射电望远镜工程是国家“十一五”重大科技基础设施建设项目，该项目是利用贵州天然喀斯特洼地作为望远镜台址，建造世界第一大单口径射电望远镜——500米口径球冠状主动反射面射电望远镜，以实现大天区面积、高精度的天文观测。望远镜坐落于贵州省黔南布依族苗族自治州平塘县克度镇金科村大窝凼洼地，于2011年3月25日开工建设，2016年9月25日落成启用。FAST被誉为“中国天眼”，是具有我国自主知识产权的大科学装置，由中国科学家创新设计、研发制造、组织施工，是目前世界上最大、最灵敏的单口径射电望远镜。

在FAST建设的五年半时间里，先后有数千名工程技术和科研人员、工人以及管理人员投入到紧张、有序和巧妙的大射电望远镜建设中。他们在

大窝幽艰苦的环境里，克服了场地、天气等困难，设计实施了一个又一个巧妙的施工工艺，使FAST工程一步步实现。在这个过程中，有多达20多家的主要施工单位先后完成了台址开挖，圈梁、索网、面板、促动器和馈源支撑塔、索驱动、舱停靠平台、综合布线和电磁兼容等系统工程，FAST在大窝幽这个深山沟里从无到有的建设过程，堪称是一个工程奇迹。

本书系南仁东先生生前组织FAST工程团队编写的一本科普读物，编写团队力图以通俗的语言使人们了解FAST是什么，能做什么，为什么建造，以及如何一步步实现。FAST是人类探索宇宙的利器，它为科学新发现提供了前所未有的机遇。如果通过本书能够吸引更多的人了解天文、热爱天文，那么本书的出版将变得更有意义。

感谢浙江教育出版社的编辑们从本书策划到定稿过程中提出的诸多宝贵意见，感谢为本书策划、编写、定稿、印刷做出贡献的所有同事。

最后，谨将本书献给我们尊敬的南仁东先生。

FAST工程经理 严俊

2018年12月



微信扫码关注  
获取精彩视频

春雨催醒期待的嫩绿  
夏露折射万物的欢歌  
秋风编织七色锦缎  
冬日下生命乐章延续着它的优雅  
大窝凼时刻让我们发现 给我们惊奇  
感官安宁 万籁无声  
美丽的宇宙太空以它的神秘和绚丽  
召唤我们踏过平庸  
进入它无垠的广袤

——南仁东



第一章 迈向星辰大海 1

- 1 射电天文学 3
- 2 射电望远镜 5
- 3 为什么要建大口径射电望远镜 14

第二章 “中国天眼” 深探苍穹 17

- 1 FAST可以做什么 20
- 2 FAST的创新概念 51
- 3 FAST的系统构成 55
- 4 FAST的工作原理 58
- 5 FAST的先进技术 59

第三章 国之重器 中国智造 61

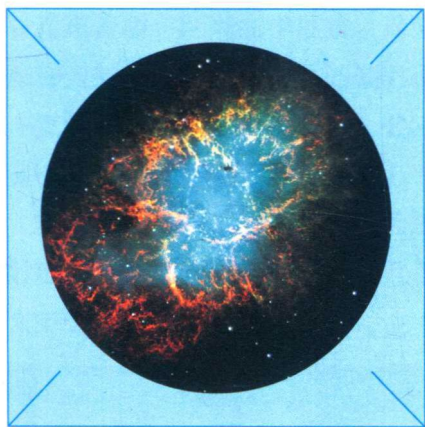
- 1 梦想起航 63
- 2 为“中国天眼”找个家 67
- 3 排除万难造“天眼” 75
- 4 技术挑战与设计突破 92
- 5 “中国天眼”本领大 135

第四章 追梦者的长征 139

- 1 世界之最 141
- 2 发现新脉冲星 142
- 3 未来展望 144

FAST大事记 145





人类仰望上苍时，总是在想：我们是谁？我们从哪里来？我们是否孤独？……在茫茫宇宙中，是否还存在着其他的文明社会呢？千百年来，人类只是通过可见光波段观测宇宙，而实际天体的辐射覆盖了整个电磁波段。射电天文学观测的是来自宇宙的无线电信号，为了获得更多宇宙天体的信息，需要将射电望远镜的口径设计得尽可能大。在神秘而深邃的星空下，FAST就像一只望向太空的眼睛，带我们去探索宇宙的奥秘。



上海天马射电望远镜，2012年建成，口径65米，是亚洲最大、全可动射电望远镜。

## 1 射电天文学

广播电视的无线电信号和我们熟知的可见光都是电磁波，都以光速传播，区别在于波长。通常我们把来自宇宙天体的无线电波称为射电波。不同天体的辐射覆盖整个电磁波段，从低频射电一直到高能X射线和伽马射线（X射线和伽马射线在日常生活中也有应用，例如安检仪和CT成像）。

地球大气为人类观测宇宙开放了两个窗口频段，即可见光和射电波。窗口频段之外的辐射几乎被完全屏蔽，这些辐射需要在太空中才能被接收到。

### 知识链接

- **可见光观测** 可见光窗口的波长范围是380~780纳米，中心的黄绿光波长约570纳米，太阳在这一波长辐射最强，肉眼对于这一波长也最为敏感，生物学家用进化论解释这一巧合。地球大气对波长为毫米至几十米的电磁波也是透明的，这个大气窗口频段是在人类发明了无线电技术之后才发现。千百年来，人类只通过可见光波段观测宇宙，对天体辐射的性质只是一孔之见。

1931年，在美国新泽西州的贝尔实验室里，负责专门搜索和鉴别电话干扰信号的美国人卡尔·央斯基发现：有一种每隔23小时56分04秒出现最大值的无线电干扰。经过一年多的精确测量和





图 1-1 不同电磁波段拍摄到的太阳图像：由左至右是X射线、紫外线、可见光、射电

周密分析，1932年，他正式确认这种规律的无线电干扰是来自地球大气之外、银河系中心人马座方向发射的一种射电辐射。于是，人类第一次捕捉到来自太空的无线电波，天文学从此翻开了新的一页，人们开始通过射电波观测研究星体和宇宙——射电天文学由此诞生。央斯基于1933年在《自然》(*Nature*)杂志上公开了自己的发现。当时他使用的是长30.5米、高3.66米的旋转天线阵，在14.6米波长取得了30度宽的“扇形”方向束。

射电天文学贡献了20世纪4个激动人心的天文发现：脉冲星，发现了理论预测的中子星；类星体，有类似恒星的小角径，发出超过整个星系的光，显示了星系中心黑洞剧烈的活动过程；星际分子，改写了人类对星际介质中复杂分子的认识；3K宇宙微波背景辐射，为大爆炸宇宙模型提供了观测证据。射电天文观测成就了6项诺贝尔物理学奖，成为新思想、新发现的摇篮，丰富的科学产出深刻地影响了人类对自然的认识。

由于工业技术的发展，特别是电子学和计算机等高新技术的进步，加上在天文科学研究、通信产业以及国家安全需求的推动下，射电天文探测能力发展到了前所未有的水平。其相对带宽（频带带宽与通道宽度之比）超过10000；其分辨率，也就是观测天体细节的能力（分辨率越高，所能分辨的角度越小），比所有其他波段至少高出3个数量级；其探测极限（探测暗弱天体的能力）为 $0.000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001(1 \times 10^{-30})$ 瓦/(赫兹·平方米)。射电天文学之所以需要这么高的观测能力，是由于天体太

过遥远和暗弱。据估计，70多年来，全世界射电望远镜接收的天体辐射能量还不够翻动一页书。因此，阅读宇宙天书需要巨大口径的射电天文望远镜。

## 2 射电望远镜

天文学是一门观测科学。望远镜是一种能将远方景物“拉近”到眼前，使人们能够看清楚仪器，普通的光学望远镜生活中经常能见到，通常由物镜、转向棱镜、目镜和镜筒构成。天文学家用望远镜来观测宇宙空间。1609年，意大利科学家伽利略用他自制的32倍望远镜指向星空时，才第一次揭开宇宙的神秘面纱。光学天文望远镜使人们可以通过可见光波段观测距地球十分遥远的太阳、月亮、恒星、流星和彗星等。然而，天文学家不满足于光学天文望远镜，并将目光转向射电天文望远镜。

随着射电天文学的发展，天文学家开始使用射电天文望远镜观测天体。与光学望远镜不同，单天线射电望远镜既没有高高竖起的望远镜镜筒，也没有物镜、目镜，它主要由三个部分构成：反射面——用来汇聚天体辐射的电磁波，就像汇聚光线的凹面镜；接收机——用来接收反射面汇聚的电磁波，就像接收无线电信号的收音机；指向跟踪装置——用来将望远镜指向天体并进行跟踪（消除地球自转的影响）。

射电天文望远镜观测的是来自天体的射电辐射。辐射究竟有什么特征？辐射的特征主要包括时域、频域的信息。时域特征包括辐射的强度、辐射强度随时间的变化等。频域特征包括辐射频谱（即辐射随频率的变化）、频谱随时间的变化等。

射电天文望远镜接收到的来自天体的辐射往往较人工信号弱。其接收到的天体射电辐射的流量一般以央斯基作为单位，1央斯基 =  $1 \times 10^{-26}$  瓦/(赫兹·平方米)。对于流量强度为1央斯基的射