



# 通过国际合作 促进 FAST 自主创新

彭勃\* 南仁东

(国家天文台 北京 100012)

关键词 射电天文, 国际合作, 球面望远镜

1933 年, 美国贝尔实验室的卡尔·央斯基意外发现了来自银河中心稳定的电磁辐射, 标志着射电天文学的诞生。近代天文学四大发现——类星体、脉冲星、3K 宇宙背景辐射以及星际分子, 无一不基于射电天文学。在获诺贝尔物理奖的项目中, 有 8 项涉及天文学, 其中 5 项与射电天文学密切相关。接收面积是天文望远镜最重要的综合能力参数。中国科学院国家天文台根据天文学科和天文观测的特点、要求以及现有的技术力量, 提出了在中国建设 500 米口径的球面射电望远镜 (Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope, FAST) 的总体工程概念。其有效接收面积比现有和计划中的世界最大全可动单天线望远镜提高近一个量级, 将是世界上最大的单口径射电望远镜。FAST 工程概念的形成过程, 体现了广泛的国际合作、不断

的技术创新和多学科交叉。

## 一 FAST 国际合作背景

国际无线电科联(URSI)1993 年京都大会上, 澳、加、中、法、德、印、荷、俄、英、美 10 国天文学家联合建议筹建接收面积为 1 平方公里的大射电望远镜阵 (Large Telescope, LT), 1999 年易名为 SKA (Square Kilometre Array), 并成立了 URSI 大射电望远镜工作组 (LTWG) 协调各国对 LT 的研究。它符合根据 Livingstone 曲线 (图 1) 对射电望远镜综合性能进步的预测, 有明确的科学原动力——不同宇宙距离中性氢的观测。“人类渴望在电波环境彻底破坏之前, 真正看一眼初始的宇宙, 弄清宇宙结构是如何形成和演化至今

的, 只有大射电望远镜 SKA 才能帮助人类实现这一梦想。”如果失去这一机会, 人类只能到月球背面去建造同样口径的望远镜, 因为那里的银河背景噪声是一样的。

SKA 全体大约可分解为 30 个基本单元, 单元口径约 200 米, 以获得高分辨率及快速成像能力。1999 年, 组建了包括主要射电天文强国的国际 SKA 操作委员会 (International SKA Steering Committee, ISSC)。SKA 的 0 级

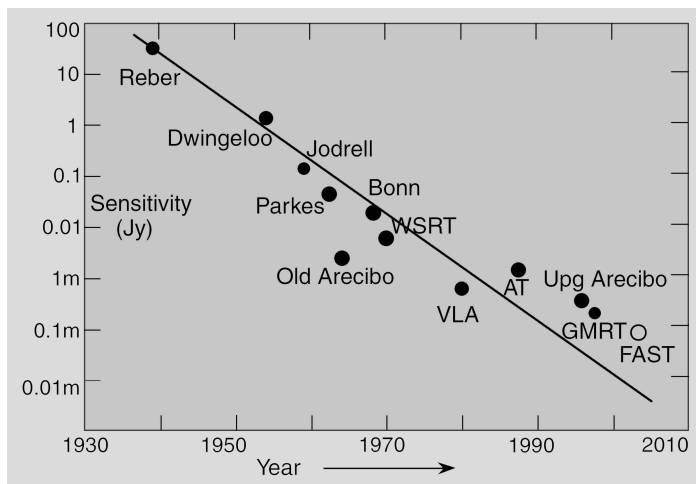


图 1 望远镜 Livingstone

\* 国家天文台研究员

修改稿收到日期: 2004 年 6 月 22 日



科学目标几乎关联所有天文学难题,其 150 个足球场大的接收面积可将天文观测伸至宇宙原初,无须时域、频域积分的原始高灵敏度使它成为瞬变多色宇宙的相机。ISSC 计划在 2020 年建成 SKA,工程总预算为 10 亿美元。

SKA 既体现了现代科学的想象力,也具有风险,没有广泛的科学技术合作难以实现。在射电天文的波段、分辨率和灵敏度三个发展方向中,考虑到科学突破机遇、高科技发展利益以及国情,我国射电天文战略重点应定位于 SKA。

1994 年 4 月国家天文台(原北京天文台)开始了贵州的 SKA 选址,1995 年 10 月,在贵州成功主办了国际大射电望远镜工作组第 3 次会议(LTWG-3)。1995 年 12 月,SKA 中国推进委员会在国家天文台举行成立暨第一次 SKA 学术年会,展开对贵州洼地台址、各种潜在或新型宽带馈源、无平台索支撑、球反射面结构、天线总体电气性能等的多方向探索。SKA 中国推进委员会 1997 年 7 月提出由我国独立建造一面世界最大单口径球面望远镜(即现在的 FAST)的初步设想。2000 年 4 月,FAST 总体组在贵州主办了大型国际会议(IAU Coll. 182)。

除 FAST 之外,实现 SKA 的工程方案还有美国的 ATA、荷兰的相位阵 AAT、加拿大的主动面加球载馈源 LAR、澳大利亚的 Luneburg 透镜阵和柱面镜、印度的预载荷抛物面天线 PPD 等。实

现 SKA 最终方案的决策尚待时日,无论 FAST 能否最终成为 SKA 的先导单元,它都将是世界上最大单口径的射电望远镜,它在国际上的领先地位至少要保持 20 年。

## 二 FAST 自主创新

自 1994 年始,以国家天文台为核心,包括中国科学院、教育部、原电子工业部、航天工业总公司、贵州省科技厅等 20 余个最具实力的大专院校、科研院所形成 SKA 中国团队。提出了 SKA 中国工程概念先导单元——FAST 的创新方案设计,对 FAST 的科学目标、台址、主动反射面、馈源索支撑、天线总体电性能、测量与控制、接收机系统等开展了多学科交叉研究。FAST 的创新设计和丰富的科学内容吸引了广泛国内外合作。在从事 FAST 预研究的大学与研究所中,有近 50 位研究生在相关领域开题,已获学位者 14 人,博士后 11 人,有些早期参与者已成长为学科带头人。

FAST 项目的创新之处为(图 2):利用贵州天然喀斯特洼坑作台址;在洼坑内铺设 500 米口径球冠状主动反射面,观测时被照明部分形成 300 米口径瞬时抛物面,在地面改正球差,实现实时宽带和全偏振;馈源支撑采用光机电一体化轻型索拖动机构,馈源舱内装有二次稳定平台,在焦点与主动反射面之间无刚性连接的情况下,实现望远镜的精确快

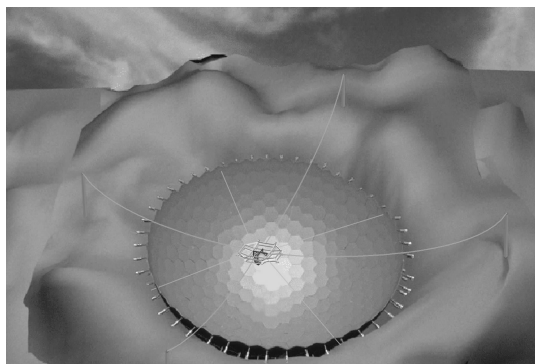


图 2 FAST 总体效果图

速指向跟踪。

1998 年 2 月,FAST 建议得到了陈芳允、杨嘉墀、王绶琯、陈建生等院士的支持,并联名致信路甬祥院长,路院长在批示中认为:“FAST 可作为中科院‘十五’大型国家装置的候选”。在 1998 年 4 月召开的 SKA 第三次学术年会上,国家天文台明确提出 FAST 工程概念,认证了其中的关键技术:贵州喀斯特洼地台址、主动球反射面和光机电一体化馈源索支撑等。会上成立了 FAST 项目委员会,界定了全国 20 余研究单位组成的相关团组,以集中对上述关键技术进行可行性研究。FAST 预研究作为首批“创新工程重大项目”于 1999 年 3 月立项,并得到中国科学院及科技部的大力支持。在国家天文台大射电望远镜技术实验室(FAST 总体组)的协调下,各关键技术可行性研究课题进展顺利,于 2001 年底通过中国科学院院级验收。2002 年 9 月,FAST 列为中国科学院“重要方向性项目”,启动了对 FAST 关键技术的优化研究,以简化设计、提高可靠性、可维护性和降低全程造价。目前,新的“索网主动反射面”



方案力学仿真和模型设计、相位阵多波束馈源的国内外联合设计正在进行中。

从 SKA 中国推进委员会、FAST 项目委员会、到 FAST 总体组,历经 10 年,中国天文及相关工程界的科研工作者精诚协作,在科技部、中国科学院、国家基金委的支持下,FAST 总体组完成了 FAST 主动反射面、馈源索支撑等关键技术的可行性研究,各项关键技术均取得突破,已无技术风险,具备参与国家重大科学工程遴选立项的条件。

FAST 的创新设计体现了中国人独立的知识产权,将提高我国基础科学研究总体的显示度和我国综合国力。据不完全统计,截至 2003 年底,已发表相关研究论文约 280 篇,其中 SCI 论文 61 篇、EI 论文 30 篇,国际会议论文 72 篇,国内外刊物论文 109 篇,专著 4 部。

### 三 FAST 广泛国际科技合作

FAST 总体组与国际上几乎所有大型射电天文台都有长期稳定的实质性合作。1993 年,召集并主持了由中国与德、瑞(典)、荷、英、美、澳(大利亚)、俄专家参加的各种合作讨论,关键技术咨询。1997 年与荷、美、澳、加、印 5 国签订了 6 国 8 所 SKA 国际合作备忘录 MoA to Cooperate in a Technology Study Program Leading to a Future Very Large Radio Telescope。1999 年,与英国签署了 MoU between Beijing Astronomical Observatory and

Jodrell Bank Observatory: The FAST collaboration。2000 年,与荷兰续签 Proposal for joint research 2000: Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen 等双边合作备忘录。另外,与美国 Arecibo 天文台的合作进展顺利(图 3);焦仓内望远镜接收机系统的方案设计已通过中-英合作完成;正在进行的还有:中-荷、中-澳对相位阵多波束的合作研究等。

1998 年 3 月,FAST 总体组对英国进行了寻求 FAST 项目合作的访问。首先得到英国皇家天文学会(RAS)、剑桥大学、曼彻斯特大学、英国粒子物理与天文委员会(PPARC)的积极响应。在伦敦,FAST 总体组应邀出席 RAS 月会,并向 150 名会员(RAS Fellow)做 FAST 项目介绍。在剑桥大学,诺贝尔物理奖得主、脉冲星发现者 Hewish 全程参与了与 FAST 项目组一整天的合作讨论,事后还对 FAST 主动反射面文章

月,PPARC 天文学部主任 P. Murdin 教授、英国 Jodrell Bank 天文台台长 A. Lyne 教授、MERLIN 台长 P. Wilkinson 教授、总工程师 J. A. Battilana 博士因 FAST 合作首次访华。随后, Jodrell Bank 天文台 4 位高级馈电工程师 J. A. Battilana、N. Roddis、C. Baines 和 G. Kitching 针对 FAST 馈源舱总体设计展开长达 3 个月合作研究,并于 2000 年 12 月,访问 FAST 总体组一周,初步形成了两天文台在 FAST 接收机系统研制方面的合作框架。

这样的国际科技合作将使 FAST 拥有可以与国际前沿接轨的、技术先进的接收机系统。Jodrell Bank 天文台与澳大利亚 ATNF 天文台是多波束馈源系统最成功的研制者和用户。中、英双方正在针对 FAST 馈源舱内的具体配置展开联合技术设计,并综合考虑 FAST 科学目标的要求、



图 3 美国 Arecibo 305 米固定球面射电望远镜

进行修改,推荐到著名天文学杂志 MNRAS 上发表。PPARC 国际合作局长 P. Fletcher 博士曾于 1998、2000 年两次访问国家天文台,了解 FAST 工作,商讨中、英 FAST 合作具体事宜。1998 年 10

馈源接收机目前技术上的可行性及造价初步估算。具体内容包括: FAST 工作频段设置、不同频段馈源类型和在馈源舱内的位置安排、偏振方式、馈源接收机本振及多通道系统、低噪

声放大器(LNA)、致冷机选择及前端真空系统合理配置、致冷及接收机的实时监控系統、信号(光纤)传输问题、FAST 馈源舱的供电、馈源接收机的运行及维护、高精度测量定位系统、主控室的天文



仪器设备等。

英方还对 FAST 设计提供技术咨询和支持,如对 FAST 主动球反射面设计、馈源支撑、天线总体电气性能以及电磁兼容性问题,通过人员互访、双边技术研讨会、联合研制等方式进行科学技术合作。英方 2001 年起为 FAST 合作培养馈源接收机方面的电子工程博士。另外,若 FAST 能够正式启动建造,英方将提供经费与中方共同完成建造一套多波束馈源接收机系统;而中方则为英方提供部分 FAST 观测时间进行国际第一流的天文学研究。

SKA 已成为国际经合组织(OECD)大科学论坛(MSF)正在协调的大型射电天文计划,为 FAST 工程提供了国际交流与合作平台。1998 年 5—6 月,荷兰天文研究基金会(NFRA)、Amsterdam 大学天文学家 R·Strom 教授,国际头号天线大师、德国 S·von Hoener 教授应邀访问国家天文台,与我有关专家合作讨论 FAST 的科学目标和技术方案。

截至 2003 年底,FAST 已在大型国际会议作特邀报告 9 次。*Science* 在 1995、1998 和 2002 年三次报导 FAST 预研究进展。2003 年,科技部批准启动了“国际科技合作重点项目”课题:1 平方公里阵 SKA 国际合作。

#### 四 FAST 主要科学意义和社会效益

望远镜的接收面积表征了其观测暗弱天体的能力。FAST 将在自然科学的研究领域抢占一个制高点。FAST 拥有巨大的有效接收面积,其灵敏度与世界最大全可动 100 米单口径望远镜相比提高近 10 倍,射电天文观测将从接收天体的非热辐射为主转向接收热辐射为主的新阶段,极大地推动宇宙中性氢的观测研究;灵敏度的提高及观测天区的扩大还使可观测射电天体数目大幅度增加,为我们提供更好的统计样本,更加可靠地检验现代物理学、天文学的理论和模型;同时将搜寻到更多的奇异天体,其中蕴涵着大量天文新发现的机会。从宇宙大尺度结构直至邻近空间事件等观测研究,FAST 都有非它莫属的竞争力。

FAST 的研制体现了天文、工程力学、数学与系统科学、空间科学、遥感、电子信息工程、机械工程、土木工程、材料工程等多学科交叉;集成了高科技领域成果,如天线制造、高精度定位与测量、高品质接收机、光纤通讯、海量数据处理、非线性时变性系统的控制等高新技术。其建造将推动我国相关科学技术领域的发展。

贵州省政府一直高度关注

FAST 的进展。从 1994 年启动 FAST/SKA 选址以来,历任省委书记和省长多次会见 FAST 项目组成员,均表示将尽全省之力支持 FAST 建造。以贵州省科技厅为领导的地方协调组已协助完成台址勘察、气象资料收集、洼地小气候及电波干扰测量等工作。2000 年 4 月贵州省还协办 IAU Coll. 182 国际会议等。建在黔南贫瘠洼地的 FAST 将会成为一道美丽的科学景观,促进我国西部的经济繁荣和社会进步。

中国天文学会理事长苏定强院士在其“关于参加国际天文学联合会 IAU 第 25 届大会总结”中特别提到:“三次会议,三位不同的报告人,每一位在讲到 SKA 时,都首先介绍中国的 FAST,并放出 FAST 的图片,7 月 21 日大会出的简报介绍 SKA 时,第一张照片也是 FAST。”FAST 在国际形成高显示度。

我们期望总投资 6 亿人民币的 FAST 在两年内立项,6 年内建成。FAST 将采用国际惯例,设立由国内外专家组成的操作委员会及学术委员会,指导望远镜的运行、维护、升级改造以及评审观测申请等。FAST 将成为国际一流的天文台和国际射电天文学术中心。