“天眼”开启 探秘苍穹

本报记者 杜 芳

前沿科技

9月25日，贵州省黔南布依族自治州平塘县的“大窝凼”洼地，FAST，即“500米口径球冠状主动反射球面射电望远镜”，在经历了22年从构想、预研、开工建设到反复调试的过程后，终于落成启用，迈向试运行阶段。从此，黔南大地“生长”出的这只巨大“天眼”，将承载着人们对于浩瀚宇宙的无限想象，日夜无休地望向璀璨星空。

观天“巨眼”明眸善睐

在正式启用的前一天，《经济日报》记者有幸零距离一睹“天眼”奇观。群山拥抱的一个巨大的天坑里，由4450块、186种大小不同的三角形反射板拼成的银灰色“大碗”坐落其中。沿着碗的边缘走一圈需要40分钟左右，而这只碗的面积，则足足有30个足球场那么大。

为什么需要一台如此大口径的望远镜？科学家们告诉记者，来自宇宙天体的无线电信号极其微弱，半个多世纪以来，所有射电望远镜收集的能量尚翻不动一页纸。只有让望远镜的灵敏度变得更高，探测微弱无线电的能力才能更强，而要想提高灵敏度，就需要扩大射电望远镜的口径。

FAST的口径达到了世界之最——500米。理论上说，FAST能接收到137亿光年以外的电磁信号，这个距离接近于宇宙的边缘。从射电望远镜诞生至今，人类共发现了约2500颗脉冲星，如果FAST的工作时间全部用于观测脉冲星，它一年时间内就有望将这个数量翻倍。因此，FAST加盟大口径望远镜家族，将大大推进人类认识宇宙的速度。

“看着FAST落成启用，那种感觉就像研究生时候日夜辛苦读书，终于等到毕业那天校长拨穗。”FAST总工艺师、主动反射面系统总工王启明欣慰地说，“在这里待久了，看着FAST从无到有，许多人都有了感情，它就像自己的孩子一样。”

如今，这个睡眼惺忪的孩子已经准备好“睁开眼睛”看向新世界。随着拼版的不断变形，500米的球冠状主动反射面上实时形成一个300米直径的瞬时抛物面，FAST灵活地转动着这个巨型眼珠，来自宇宙的秘密通过电磁波汇聚眼底，一览无余。

为了听清来自宇宙的轻声“呢喃”，FAST要把覆盖30个足球场的信号，聚集在药片大小的空间里，这并非易事。为此，科学家们奇思妙想，用6根大跨度柔索，牵引馈源舱做高精度三维扫描运动。该设计将馈源支撑结构系统自重降至30吨。轻巧的馈源舱，既降低造价，又提高稳定性，可在百米尺度大工作空间内实现瞬时焦点，实时达到毫米级高精度定位，从而实现对天体的高精度指向跟进观测。

“FAST不仅宏伟壮观，其最震撼人心的是它的精准。它要求在如此大的尺度上达到毫米级精准，并且要在约定时刻内到达。”FAST工程测量与控制系统总工朱丽春说。

这个钢筋铁骨的庞然大物，500米的结构，处处都是头发丝般毫米级的精度要求。用来编织索网的7000多根手臂般粗细的钢缆，每一根的加工精度都被控制在一毫米以内；最终的500米口径的天线精度是3个毫米，反射面单元的厚度只有1.3毫米。

自主创新“雕琢”技能

从1994年提出构想，到现在落成，FAST经历了22年。通过不断创新雕琢各项技能，具有我国自主知识产权的FAST，成为世界上正在建造及计划建造的口径最大、最具威力的射电望远镜，其反射面总面积25万平方米，光反射面板就用掉2000多吨铝合金，圈梁、索网和6座支撑馈源舱的高塔用掉1万多吨钢材。

与FAST的恢宏气势和豪华阵容相比，不远处的工程指挥部相形见绌，简易的板房连厕所都无法安装，二楼铁皮搭就的楼板走起来还咣当作响。项目的工艺师、工程师们就驻扎在这里，从2011年开工一直坚守至今。

“国家给的经费有限，算算资金还是很紧张，这种情况下，一定要把钱投到工程上去，先保证工程。如果把钱花在生活上，设备做不出来怎么办？”王启明说。在他看来，工程每一笔钱都要绞尽脑汁细分，“这样花钱可比赚钱累多了。”他笑着说。

FAST项目支出非常节省，很多设计都在前期做了充分的预研。至今指挥部的房屋后面，还堆放着许多当初的试验样机。记者看到，光是拉动“天眼”变形所用的促动器就大大小小摆了十几根。

“促动器做了9个试验台，几十台样机在同时做，历经8年才诞生适合的产品。钢索的疲劳试验也做了上百次，常用的斜拉桥上的钢索，安装强度是200兆帕、200万次弯曲，但FAST的钢索设计要求是安装强度500兆帕、200万弯曲次数，因此经历了无数次失败。那时我们非常着急，调研了上百家企业、大学等。最终，当承建单位研发出符合要求的新钢索时，申请了12项专利。”王启明说。

在高标准的技术要求筛选下，FAST荟萃了国内最牛的施工单位。比如做圈梁的单位，是做过鸟巢、国家大剧院的；做面板网架的单位，是做过水立方的。“别的工程这些企业当作一号工程来做，而把FAST称为零号工程。很多企业不图赚钱，而是觉得，作为行业翘楚，如果连这个世界第一的工程建设都不做，怎么能说得过去。”王启明说。

工期紧迫，项目团队需要一边克服技术上的难题，一边做好工程上的把关。“当时工人的工作时间安排精细到半小时以内，每一步工序都有严格的要求。比如刷油漆，必须晴天清洗完晾干才能刷，电焊焊条淋雨后必须烤干才能行，否则会产生气孔影响工程质量。贵州雨水最多的时候工人一连半个月刷不了油漆，等在工地上着急，但那也不行，坚决不能刷。”王启明说。

无数的技术工人在这里洒下了辛勤的汗水。在工程最为复杂的反射面板的安装上，11个月的时间，工人们高空作业，坐在节点上拼装，一坐就是一天。下了雨没法下来，只能披着雨衣原地等。吃饭靠着绳子把饭盒吊上去，他们还要尽量少喝水，避免上厕所。王启明说，那时工地上的条件非常艰苦。

如今，FAST落成启用，工程团队人人都晒得黝黑，说话语速也习惯性加快。自从2013年进驻工地后，每次春节，王启明总是最后一个走，几乎所有节假日都是在工地度过。千头万绪的工作让他的白头发越来越多，连老领导见了他都说：“白头发该焗一焗了！”

深空猎奇星际求索

利用贵州天然的喀斯特洼坑作为台址取法自然，是FAST的创举。

FAST台址与观测基地系统总工程师朱博勤告诉记者，自从1994年FAST工程建设提到日程上来，台址勘察就紧锣密鼓开展起来。“我们要考虑造价问题、电磁波环境问题、地质基础问题、周围无线电背景条件以及气象条件等。从火山口、矿坑、陨石坑、岩溶地区洼地等中间挑选出最佳方案，最后认为贵州喀斯特地貌的天然洼地正适合建造形如大锅的FAST。”

FAST团队从约400个备选洼地中选定“大窝凼”作为倾听宇宙的地方，因为它不大不小，深度合适，形状很圆，适于施工建设。这附近5公里半径内没有一个乡镇，25公里半径内只有一个县城，周围只有十几户人家，无线电干扰较少。

在FAST到来之前，当地的十几户人家居住在不通电的封闭小世界里，对于望远镜怎么会建成一口“大锅”？为何要建这个大家伙？他们不懂。项目团队和村民们解释了很多，他们还是听得云里雾里，最后听到要用“大锅”接收信号来找“外星人”，村民们听懂了。

村民们为“外星人”搬到了镇上，开始打量山洼外面那片新天地，而FAST则代替他们张望着故土穹顶的星空，以同样的好奇心，探索着深空里的新世界。

FAST将如何寻找外星人呢？FAST工程副总工艺师孙才红告诉记者，人们平常接收的来自电台、电视台等的信号是经过编码的，而天文天体目标发射的信号没有人为调试的过程，如果某天望远镜接收到有规则的信号，一定不属于天体现象，就有可能是外星文明的信号。

除了寻找外星生命，“天眼”还可以满足人类对于宇宙的诸多的奇思幻想：黑洞的边缘是怎样的？星星来自哪里？为什么会有我们？这些秘密将通过电波在穿越亿万光年时空后来到这里。

观测脉冲星是“天眼”的重要任务之一。天文学家介绍，脉冲星就像天体物理实验室，可以研究一些特殊天体物理和宇宙演化现象。如果发现脉冲星与黑洞组成的双星系统，科学家可利用脉冲星去研究黑洞周围时空。

观测脉冲星同时还能达到应用上的目的。孙才红说，当前观测的脉冲星有2000多颗，有些脉冲星的周期频率的标准比地球上最好的原子钟还准，通过“天眼”观测进一步补充脉冲星的数量，以后就有可能实现脉冲星导航，这对于深空探测具有重要意义。

此外，FAST还可能观察到早期宇宙的蛛丝马迹——中性氢云团的运动，所谓中性氢，就是宇宙中未聚拢成恒星发光发热的氢原子，由一个质子加一个电子组成。中性氢云团的运动正反映了早期宇宙的蛛丝马迹。“天眼”观测中性氢信号，就可能获知星系之间互动的细节，甚至发现第一代天体以及宇宙漫长发育历程的线索。如果足够幸运，地球上的人类将通过“天眼”探知宇宙起源秘密，同样也能据此分析宇宙的未来。

“一些天体演化的过程，必须通过天文观测验证理论。”孙才红说，恒星演化的最后阶段变成脉冲星，太阳演化的结果变成白矮星。白矮星的密度相当于将上万头大象压缩在一个立方厘米，而脉冲星的密度，相当于将上亿头大象压缩到一个指甲盖大小的空间里。这些演化只有在宇宙发生，地球上是模拟不出来的，因此需要更大的望远镜观测更远的天文现象，让宇宙的图景更加清晰，让人类对地外空间的认识更进一步。

中国“天眼”世界第一

自1963年建成以来，坐落于波多黎各喀斯特地貌中的阿雷西博射电望远镜，已雄踞世界上接收面积最大的单口径射电望远镜的宝座长达半个世纪。“阿雷西博”的最初口径为305米，20世纪70年代扩建至350米。

如今，FAST终于将取代“阿雷西博”，成为新的射电望远镜之王。FAST工程馈源支撑系统副总工李辉介绍，“国外的望远镜和我们很像，但是它的馈源舱放在一个平台上，总重1000吨，是不能动的，而FAST的馈源舱是悬挂在空中，可以灵活移动接收聚焦的电波，馈源支撑结构系统自重只有30吨”。

凭借500米的口径、相当于30个足球场的接收面积，FAST不仅将在尺寸规模上创造单口径射电望远镜的新世界纪录，而且在灵敏度和综合性能上，也将登上世界的巅峰。

FAST主要性能指标为：口径达500米，球反射面半径300米，有效照明口径300米，天空覆盖范围为天顶角40度，工作频率为70MHz至3GHz，灵敏度（L波段）为2000m2/K，分辨率（L波段）为2.9角分，多波束（L波段）19个，观测换源时间小于10分钟，跟踪精度8角秒。

与号称“地面最大的机器”的德国波恩100米望远镜相比，FAST的灵敏度提高约10倍；与排在“阿波罗”登月之前、被评为人类20世纪十大工程之首的美国“阿雷西博”305米望远镜相比，综合性能提高约10倍。

“FAST工程涉及的技术是前沿的，我们站在世界前沿，尽管非常难，也非常艰险，但是风景非常美丽，这是我们的幸运之处。”朱丽春说。

FAST工程副总经理、办公室主任张蜀新表示，“天眼”的综合设计体现了我国的自主创新能力，其建设将推动众多高科技领域的发展，提高原始创新能力、集成创新能力和引进消化吸收再创新能力。它的建设与运行将促进西部经济的繁荣和社会进步，符合国家区域发展的总体战略。

根据国际射电望远镜的建设及运行经验，FAST竣工后将进入紧张的调试—试运行观测阶段。“FAST庞大的系统和应用的技术，目前在其他射电望远镜里是没有的，但是望远镜建成不等于达到性能最好，未来三到五年要通过观测和不断调试将FAST的性能达到最优。”张蜀新说。

“当然在这个过程中，也会对数据进行科学分析，希望有一些突破性的成果，但是我们更希望在望远镜性能达到最优后获得高质量的观测数据。”孙才红说。

作为世界最大的单口径望远镜，FAST将在未来10年至20年保持世界一流设备的地位。

图为9月24日拍摄的FAST项目主体工程。 本报记者 吴秉泽摄

为“天眼”FAST接上超强“大脑”

本报记者 杜 芳

FAST这一世界级的工程能帮助人们捕捉到更多来自宇宙的讯息，孕育着重大的天文发现，而“高灵敏度”“更多来自宇宙的讯息”也意味着海量数据存储和复杂的计算要求。

工程师们认为，天文学作为最先经历信息爆炸的科学领域之一，历来以数据量大、数据类型复杂见称。而FAST作为射电天文学界毋庸置疑的“世界第一天眼”，其对数据存储与计算的需要同样也是“天文级”的。

FAST究竟需要多强的计算能力呢？工程师认为，短期内，FAST的计算性能需求至少需达到每秒200万亿次以上，存储容量需求达到10PB以上。而随着时间推移和科学任务的深入，其对计算性能和存储容量的需求将爆炸式增长，数据量和计算量“大得惊人”。

“许多天文学家或多或少都曾因数据处理‘无机可用’而叫苦不迭。FAST项目则不存在这个问题。因为FAST在设计之中将配套的超算中心规划在内。”曙光公司总裁历军说。

作为科学大数据方案的提供商，曙光公司率先面向地球模拟、气象环保、空天大数据、基因研究、天文探测、深度学习等领域提供融合超级计算、大数据、云计算的融合架构解决方案。此次为FAST配套超算中心，曙光公司就是共建单位之一。

凭借在高性能计算领域领先的技术实力和丰富的行业经验，曙光承担了支撑FAST运行的后端高性能计算机的研制和建设工作。日前，首期系统已经建成并投入使用，可满足FAST未来一年左右观测数据存储和初步分析处理的需求。

“曙光还将针对FAST的需求特点继续在数据的高效存储、数据处理的性能优化、系统的功耗控制和快速交付等方面加强研发，以满足未来FAST运行和相关科学研究需求。”历军说，超算中心的接入就像是给“天眼”连接上了计算“大脑”，将FAST探测到的未知信息处理成人类可解读的内容。

据历军透露，超算系统全部建成后，计算能力将达到每秒千万亿次以上，网络传输速度将达到100Gb/s，以高效能的数据存储、分发、计算和分析全力支撑FAST高灵敏度、高性能的天文观测。

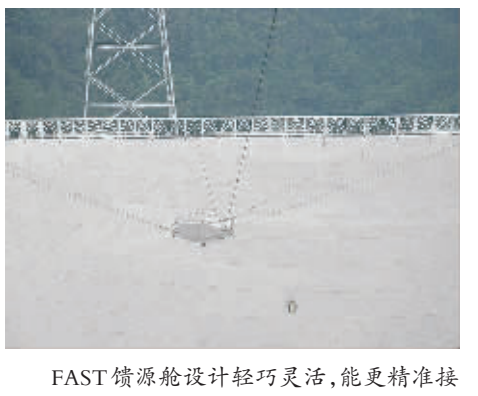
专家介绍，天文研究是典型的数据密集型科学，数据的采集、存储、管理、分析和可视化已成为天文学研究的新手段和新流程。作为继实验科学、理论科学、计算科学之后的第四种科学发现的模式，“科学大数据”逐渐成为新的科学发现的基础。FAST项目正是超级计算与观天大数据完美结合的典型范例。

可以预见，FAST及其配套的超算中心投入使用后，我国贵州FAST所在地将成为国际天文学界又一重要的科研中心。

本版编辑 郎 冰
联系邮箱 jjrbxzh@163.com

索网结构是FAST主动反射面的主要支撑结构，也是FAST工程的主要技术难点之一。 本报记者 杜 芳摄

FAST总工艺师、主动反射面系统总工王启明现场介绍情况。 本报记者 杜 芳摄



FAST馈源舱设计轻巧灵活，能更精准接收信号。 本报记者 杜 芳摄

观众在参观平塘天文科普文化园，FAST吸引了许多市民前来一探究竟。 本报记者 吴秉泽摄

FAST项目支出非常节省，图为指挥部的房屋一侧堆放着许多当初的试验样机。 本报记者 杜 芳摄