

“中国天眼”十年成长记

■本报记者 孙涵

从贵州平塘县克度镇驱车前往大窝凼,山路 15 公里,须穿过 3 道关卡。作为国家划定的电磁波宁静区核心区,这里严禁携带任何具备无线电发射功能的设备,手机早在关卡外便已关机封存。

过了开工奠基石碑,一口银色“巨锅”赫然嵌在群山怀抱中。周围 6 座百米高塔直插空中,6 根粗壮长索悬吊着 30 吨重的馈源舱;沿水泥便道顺时针盘旋不到 3 公里即下到“锅底”,馈源舱悬在反射面上空约 140 米高处。密密麻麻的 2225 根下拉索连接索网节点与地锚,地锚偶或出现在水泥便道中间,此处的道路会因此拓宽绕行。站在“锅底”,耳畔回荡着巨大金属网架放大的呼啸风声。

2026 年 9 月,500 米口径球面射电望远镜(FAST,又被称为“中国天眼”)迎来落成的第十个年头。10 年间,从超 1300 颗脉冲星的发现、为纳赫兹引力波背景的存在提供重要观测证据,到快速射电暴活动研究取得系列突破,它推动着中国射电天文实现历史性跨越。

对于这台设计寿命不少于 30 年的大型望远镜而言,10 岁的 FAST 正值当打之年。

溯源:一场跨越 22 年的深山拓荒

任何大科学装置的诞生,都是一段跨越时代的接力。

1993 年,在国际无线电科学联盟大会上,各国天文学家联合倡议筹建下一代大射电望远镜。时任北京天文台副台长南仁东敏锐地意识到,这是中国射电天文摆脱跟跑、实现跨越式赶超的时代机遇。1994 年,以南仁东为代表的中国天文学家正式提出利用贵州天然喀斯特洼地建设大射电望远镜的构想。这一构想随后逐步演进为独立研制一台具有主动反射面的 500 米口径球面射电望远镜。

为了给“大锅”选址,南仁东带着青年科研人员,拄着竹竿、端着馒头,在贵州喀斯特群峰深处跋涉多年。他们考察了数百个洼地,最终选定平塘县克度镇大窝凼。这里天然的漏斗地貌为 500 米“大锅”提供了天然基坑,不仅将土石方开挖量削减到极致,还凭借发育良好的喀斯特地下暗河解决了暴雨排洪难题;四周耸立的峰丛,更成为阻隔现代无线电电磁杂波的天然屏障。

2011 年破土动工,2016 年 9 月落成,FAST 将中国工程力学与结构控制推向了国际前沿。在由 6670 根主索编织成的 500 米球冠状索网上,控制系统根据目标天体方位实时计算,驱动下拉索,在反射面上动态形成一个 300 米口径的瞬间抛物面。

更具革命性的是其柔性馈源支撑系统。以往的大型单口径望远镜往往需要修建数十米乃至上百米庞大笨重的刚性支撑平台,而 FAST 仅用 6 根大跨度长索拖动一座直径约 13 米的超轻馈源舱,在 140 米高空、206 米范围内动态定位。相对于 300 米的有效工作口径,13 米馈源舱的遮挡效应微乎其微。

OpenAI 一次性发布 700 篇数学论文



本报讯 10 月 6 日,美国开放人工智能研究中心(OpenAI)一次性公开了完全由人工智能(AI)生成的 700 余篇数学预印本论文,整个科研界为之哗然。作为 ChatGPT 的开发方,OpenAI 将这批论文上传至代码托管平台 GitHub。

据《自然》报道,一部分数学家为诸多悬而未决的难题得到解答而感到振奋,但也有不少人在社交媒体上抱怨自己的研究被抢先发表。即便这些数学结论最终在形式上被证明正确,仍有学者对这一行为感到愤慨。

美国康涅狄格大学斯托尔斯分校的 Alvaro Lozano-Robledo 在社交平台



500 米口径球面射电望远镜,又被称为“中国天眼”。图片来源:中国科学院国家天文台

FAST 运行和发展中心主任、总工程师姜鹏回忆,在 FAST 立项之初,国际上几乎没有先例可供借鉴,而大口径、主动变位、超轻悬索支撑,每一个设计指标都在挑战当时的工程极限。

然而,大功告成之际,倾注了 20 多年心血的奠基人却倒下了。2017 年 9 月,在 FAST 落成一周年之际,南仁东因肺癌恶化溘然长逝。望远镜调试与运行的重担,落在了接任总工程师的姜鹏和这个平均年龄 30 岁出头的年轻团队肩上。

调试:黎明前漫长的破晓

2016 年 9 月 25 日,FAST 工程在大窝凼宣布落成。然而,设备落成并不意味着就能直接投入大规模科学观测。当时,面对总控、整控、测量、馈源舱本地、索驱动本地等 5 个系统与多家承建单位“各自为战”的协同难题,以及野外复杂气象条件下的测量基准校准,姜鹏带领团队迅速投入紧张的调试中。如果尽快攻克系统协同难题,通过国家验收,望远镜就无法真正向科学界全面开放。

更严峻的挑战来自 FAST 独特的物理机制,它的馈源支撑系统与主动反射面之间没有任何物理上的刚性连接。要让 30 吨重的馈源舱在百米高空迎风摆动中,与地面 4450 块反射面单元的毫秒级变形实现精密咬合,全靠测量与控制软件实时调遣。

然而,大窝凼常年阴湿多雾,温差与山谷风切变交织,给反射面拟合计算带来了挑战。那段调试期,可以说是黎明前最黑暗的阶段。台址变压器突遭烧毁,重新定制安装耗时整整一个月;喀斯特山体落石滚下,砸坏了反射面单元和下拉索的液压驱动器;部分高精度的进口核心部件故障频发,不仅供货周期极其漫长,售后维修也受制于人。

面对困境,团队横下一条心:自己改,自主造。他们组织国内力量进行技术攻关,短时间内完成了关键控制系统

的升级换代与核心零部件的国产化替代。无论白天黑夜、起雾降雨,只要没有危及结构安全的极端大风天气,望远镜都能保持亚毫米级的精确跟踪,实现了几乎全天候、全天时的科学观测。

2019 年,历时 3 年多,FAST 提前完成了全部调试指标。2020 年 1 月 11 日,国家验收委员会在现场评定,FAST 各项性能指标全面达到或优于验收指标,部分关键指标优于设计要求,综合性能达到国际领先水平。

国家自然科学基金委数理学部原副主任董国轩回忆,在早期预研阶段,国内工业界和学术界压力极大,很多人认为这么庞大复杂的柔性系统能否做成捏了一把汗。“今天看来,不仅如期建成了,而且运行得这么稳定,这给全国天文学家提供了坚强支撑。”

如今,FAST 年观测时机稳定在 5300 小时以上,设备运行可用率超过 98%,成为全球运行效率最高的大型地面射电望远镜之一。

丰碑:井喷式的科学黄金期

通过国家验收后,FAST 迅速转入 24 小时不间断常态化科学运行,中国射电天文迎来了丰硕的收获期。

科学界最为关注的首先是脉冲星。这种大质量恒星死亡坍塌后留下的高速旋转致密天体,既是天然的精密物理实验室,也是宇宙中的“时钟”。在 FAST 落成前,全人类才积累了 2500 余颗脉冲星;而 FAST 常态化运行数年间,便发现了超 1300 颗脉冲星。

其中,FAST 发现了一颗轨道周期仅为 53 分钟的致密脉冲双星系统。这是当时已知轨道周期最短的脉冲双星,它的发现可能揭示了双星系统从物质不断被剥蚀的“红背蜘蛛”向伴星近乎被完全吞噬的“黑寡妇蜘蛛”过渡的关键演化机制。

在中性氢观测领域,在对著名的“斯蒂芬五重星系”展开观测时,FAST 出人意料地捕获到一个尺度延展达 200 万光年的巨型中性氢气体结构,其跨度达到



图片来源:Monty Rakusen

法和微分几何,其中并不包含克莱数学研究所在世纪之交提出的剩余 5 道千禧年大奖难题的完整解答。不过,部分论文研究的问题和剩下 5 道难题存在关联,包括复代数簇领域的霍奇猜想,以及和素数统计性质相关的黎曼猜想。OpenAI 发言人表示:“这些成果的科学价值交由更广泛的学界来评判。”

银河系直径的 20 倍,一举刷新了人类发现的最大原子气体系统纪录。

与此同时,FAST 全天中性氢巡天任务(FASHI)交出了震撼世界的答卷。其第二期数据集覆盖了约 19500 平方度的辽阔天空,编目了多达 156411 个河外中性氢源,建成了迄今全人类在射电波段规模最大、灵敏度最高的中性氢星表。

近年来,天文学界最神秘莫测的前沿热点是快速射电暴(FRB)研究。研究团队在对著名重复暴 FRB 121102 的监测中,于短短 47 天内记录到 1600 多次独立爆发,形成了当时国际上单一源最大样本,首次完整刻画出重复快速射电暴的能量分布律;而在对另一颗极度活跃的 FRB 202011 24A 的观测中,FAST 在 54 天内捕捉到 1800 余次爆发。

在更为宏大的时空尺度上,利用 FAST 运行仅 3 年 5 个月的高质量观测数据,中国脉冲星计时阵研究团队以 4.6 西格玛的统计显著性,在约 14 纳赫兹频率附近成功探测到空间四极相关性的关键信号,为纳赫兹引力波背景的存在提供了重要观测证据。

董国轩说,FAST 当年确立科学目标时,核心聚焦点几乎全在脉冲星上,谁也未曾预料到后来会在快速射电暴、纳赫兹引力波等领域取得如此井喷式的重大突破。

“做科研仪器往往有两种思路,一种是必须先把科学目标想得一二三;另一种思路是只要把刀磨得快快的,今天碰着羊就宰羊,明天碰着牛就宰牛。”董国轩打了个形象的比方,“只要把‘武器库’建好,科学发展到了那一步,重大的科学问题自然就会找上门来。事先你想琢磨,其实也琢磨不清楚。”

“你不知道你会有什么发现,但你肯定会有发现——我们期待着,一定会有更多的发现。”中国科学院院士韩占文说。

10 岁的“中国天眼”,正是这样一把探索利刃。

远眺:二期核心阵

站在十周年的门槛上审视 FAST 的未来,世界射电天文学的版图正在经历新一轮巨变。

当前国际射电天文学的发展重心,正越来越多地转向大规模干涉阵列——在获取极高灵敏度的同时,能够获得远超单口径望远镜的空间分辨率。

凭借世界最大的单口径接收面积,超高灵敏度是 FAST 无可替代的王牌。但在厘米波段,FAST 单天线的分辨率在角分量级。这使得 FAST 虽然能够灵敏捕获遥远宇宙中极为微弱的瞬变信号,却难以直接将它们精准锁定在极其微小的特定天体或宿主星系上。

(下转第 2 版)

探访大科学装置



在论文公布前数周,OpenAI 曾征求过一个数学家顾问委员会——数学与人工智能咨询小组(AGMAI)的意见。OpenAI 称自己采纳了该小组 9 月 29 日提供的建议,即不等人类完成核实验,甚至不等人类读懂全部内容就对外公开结果。

英国伦敦帝国理工学院的 Kevin Buzzard 支持这一做法。他表示:“如果定理已经得到证明,人类还继续投入精力重复研究,这本身就是一种资源浪费。”

AGMAI 同时也警示,AI 企业使用闭源自研模型开展数学研究,“有可能造成双轨制格局,企业实验室跑在整个学界前面,让广大数学家与自身学科产生割裂”。针对 OpenAI 这次的行为,AGMAI 在官网表态:“究竟在多大程度上落实了我们给出的建议,最终要由整个数学界来评判。”(王方)

科研团队实现抗噪声量子密钥分发

本报讯(记者王敏)中国科学技术

大学郭光灿院士团队的韩正甫、陈巍、银振强、王双等和河南省量子信息与量子密码重点实验室、南京邮电大学合作,针对量子通信实际应用中的强背景噪声问题,首次实现了基于优势提取的实用化测量设备无关量子密钥分发,结合高速并行编码与小型化半导体单光子探测技术,将噪声容忍能力提升 4 个数量级,验证了典型城际通信距离下量子密钥分发与现网光通信设备共纤传输的可行性。相关成果近日发表于《物理评论快报》。

随着量子通信向电信网络和空天网络拓展,复杂应用环境带来的强背景噪声显著增强。电信网络中,高功率经典光信号会通过光纤非线性效应产生额外噪声;星地链路、无人机平台等自由空间信道则直接暴露于太阳光等强环境光干扰。传统滤波手段抑噪能力有限,还会带来额外损耗和系统复杂度,难以满足实际应用需求。如何从根本上突破系统的噪声容忍极限成为量子通信实用化亟待解决的关

键问题。

团队围绕强噪声环境下量子密钥分发的关键技术瓶颈,发展了有限码长优势提取理论,并结合高速并行编码与小型化单光子探测技术,构建了高噪声容忍量子密钥分发系统。理论上,团队首次将优势提取引入测量设备无关量子密钥分发,通过对原始密钥进行分组处理,显著提高系统的噪声容忍能力;实验上,实现高速量子信号编码与低噪声探测,为强噪声环境下的稳定密钥生成提供支撑。在此基础上,系统噪声容忍极限达到 425 千赫兹,提升 4 个数量级,安全密钥生成能力提升 2 个数量级。

依托这一性能提升,团队将量子密钥分发系统直接接入中国联通提供的现网光通信设备,实现 150 公里共纤传输,满足典型城际保密通信需求。该成果为量子密钥分发适应复杂环境、融入现有光通信网络提供了新的技术路径。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1103/1b8r-r248>

锂电正极设计从“经验试错”走向“目标导向”

本报讯(记者张楠 通讯员刘言)近日,中国科学院金属研究所的科研团队提出从微量元素物理化学作用规律

出发的正极材料设计新策略,推动正极材料探索从“经验试错”走向“目标导向”。相关成果发表于《自然-合成》。

一块锂离子电池能存多少电、充放电多快、能用多久,很大程度上取决于它的正极材料。为了让正极材料性能更好,科研人员常常会加入少量特定元素。那么,究竟该选哪些元素、为什么选它、不同元素怎么搭配?

研究团队从底层物理化学机制出发,提出了更有针对性的元素筛选方法:一类元素负责让锂离子跑得更顺,另一类元素负责让材料结构更加牢固。这两种作用分别与元素的离子电荷密度和金属-氧键合强度密切相关。电荷密度较低的元素,能减小锂离子迁移时受到的阻碍,让锂离子更易在材料中快速移动;与氧结合更牢固的元素,能增强晶体骨架的稳定性,使材料在反复充放电过程中不易发生结构破坏。

依据这两把“尺子”,研究团队从众多元素中筛选出镁、钙、钛、锆元素,制备出 4 种元素含量均接近 1%的协同优化无钴高镍正极材料。结果表明,在含量均接近 1%的多元微量元素共同作用下,锂离子传输效率和材料结构稳定性得到同步提升。

电化学测试显示,该材料兼具优异的快速充放电、长循环和低温性能,仅需 3 分钟超快充,电量即可达到近 80%;在 6 分钟快速充放电条件下循环 350 次后,容量保持率仍达 82.4%。用该材料制备的 5.74 安时电池在零下 20 摄氏度低温下,仍可实现 278.6 瓦时/千克的能量密度,展现出优异的低温储能性能,为寒冷地区新能源汽车和储能设备的应用提供了新的材料选择。

这项工作为多元微量元素的选择建立了可遵循的设计规律,让材料研发从“依靠经验试”转变为“有目标地选”,为高性能锂离子电池正极材料以及其他功能材料的精优设计提供了新思路。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1038/s44160-026-01152-y>

研究证实佩戴助听器可逆转老年轻度认知障碍

本报讯(记者江庆岭)上海交通大学医学院附属第九人民医院教授吴皓团队牵头的“中国老年听力与认知健康(CHOICE)”随机对照研究显示,伴轻度认知障碍的中重度听力损失老人,规范验配助听器两年内,认知功能恢复至正常的比例达 15.34%,约为未佩戴助听器对照组的 6 倍。相关成果近日发表于《美国医学会杂志-神经病学卷》。

听力与脑健康的关联已成为全球脑科学、听觉医学、老年医学与神经科学共同关注的前沿方向。《柳叶刀》发布的痴呆预防委员会报告指出,听力损失在痴呆症的多项可调控风险因素中连续多年排在首位。

依托社区老年体检网络,CHOICE 项目在上海、江苏、海南等地筛查 3.5 万余名老人后发现,我国 60 岁以上人群约 77%存在听力问题,近 30%为中重度及以上致残性听力损失,而助听器使用率仅 3.5%,重度以上耳聋者人工耳蜗使用率仅 0.47%。

2020 年至 2024 年,研究团队从社

区站点及耳鼻喉科门诊共纳入 703 名 60 岁及以上、伴中度至重度听力损失的轻度认知障碍老人,平均基线年龄 74.5 岁。受试者被随机分为两组,一组接受专业助听器验配及使用指导,另一组不佩戴助听器,仅接受听觉健康与生活方式健康教育。

两年随访结果显示,干预组即佩戴助听器的老人认知恢复正常的机会约为对照组的 6 倍。在两年内痴呆发生率方面,两组差异尚未达统计学显著,需更长周期、更大样本进一步验证。

在认知障碍尚缺乏有效药物的背景下,这是首个中国人群随机对照试验,其数据证明,听力干预作为一种非药物、可推广手段,对已出现一定程度认知衰退的老年人具有明确认知改善价值。研究提示,认知衰退并非单向过程,及时的听力重建可使部分老人的认知功能回到正常轨道。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1001/jamaneuro.1.2026.3395>



世界最大菱锰矿晶体亮相

近日,湖南省地质博物馆展出了世界最大的菱锰矿晶体“中国皇帝”菱锰矿标本。

该矿 2009 年于广西苍梧出土,玫红色晶体层层叠叠宛若红玫瑰,最大单晶直径 22 厘米,是全球顶级菱锰矿藏品。矿物收藏者将它比作矿物世界里的“中国皇帝”,意为至高无上、难以超越的地位。

图片来源:视觉中国