# 算力飞上天

# 记之江实验室三体计算星座科研团队

中青报·中青网记者 蒋雨彤

5月14日12时12分,太空计算卫 星星座搭载长征二号丁运载火箭在酒泉 卫星发射中心成功发射, 标志着我国首 个整轨互联的太空计算星座正式进入组 网阶段。一箭十二颗计算卫星是之江实 验室发起的"三体计算星座"的首次发 射,也是国星宇航"星算"计划的首次

在之江实验室"三体计算星座"指 挥控制大厅,首发卫星的第一组遥测数 据已经顺利回传。而此时, 科研团队已 经马不停蹄地投入后续的研发工作,确 保卫星组网、在轨任务等顺利执行。

#### "三体"启航

"三体计算星座"是由之江实验室 协同多家单位共同打造的千星规模的太 空计算基础设施,建成后总算力可达 1000POPS (每秒百亿亿次运算)。

通常,卫星需先将数据传回地面, 再由地面数据处理中心对其进行解析, 这种"天感地算"的模式受限于地面站资 源、带宽等因素,仅有不到十分之一的有 效卫星数据能传回地面,且存在数据时 效差等问题。解决这一问题正是之江实 验室构建"三体计算星座"的出发点。

"三体计算星座"这个名称源于牛 顿提出的"三体问题", 其本质是当有 3个以上的对象协同工作时, 主体之间 的相互作用如同天体之间的引力作用一 样,是一种极其复杂的关系。"三体计 算星座"汇聚了不同创新主体的力量, 在星座的建设、投入、使用等方面均探 索了机制创新,通过共商、共建、共享 的模式, 实现太空计算的愿景。

项目论证初期,关于构建太空计算 星座的必要性、可行性存在着争议。但 随着科研团队的深入调研,大家认定, 太空计算是真实的需求, 值得去攻关。 然而, 要把算力送上天并在太空中组 网,并非易事,是要有探索精神才能干 成的事。

之江实验室联合国星宇航、氦星光 联、航天驭星、天链测控等机构,于 2024年7月成立了之江实验室计算星座 科研任务总体部,实施有组织的科研。

百余个硬件、两百余个软件、近百 万行代码,总体部的200多名科研人员 不分昼夜, 以集智攻关的努力顺利完成 首发任务的各项研制工作。

之江实验室计算星座科研任务总体 部技术总师、天基计算系统研究中心副 主任李超说:"从项目立项启动,到首 发任务成功发射,只用了不到9个月的 时间。在传统航天项目里,几乎是不可 能实现的。"

#### 拓展边界

"对于之江实验室而言,不是简 单地发卫星, 我们是要构建太空计算 星座,把算力送到太空,实现计算卫

▲之江实验室计算星座科研团队在发射现场。



星之间的互联互通,进而把人工智能送 上天。"中国工程院院士、之江实验室主 任王坚表示。

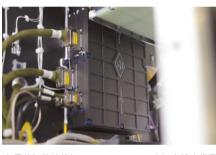
本次首发入轨的12颗计算卫星均搭 载了星载智算系统、星间通信系统,能够 实现整轨卫星互联,具备太空在轨计算能 力,将构建天地一体化网络。计算卫星最 高单星算力达744TOPS(每秒744万亿次 计算),星间激光通信速率最大可达 100Gbps, 12颗卫星互联后具备 5POPS (每秒5千万亿次计算) 计算能力和30TB 存储容量。卫星同时搭载了80亿参数的 天基模型,可对L0-L4级卫星数据进行在 轨处理,将执行异轨卫星激光接入、天文 科学观测等在轨试验任务。

计算星座的突破, 离不开太空计算软 硬件技术的攻克。之江实验室承担了首发 任务星载智能计算机等太空计算软硬件和 天基模型的研制工作。国星宇航承担了智 能网联卫星平台研发和整星研制工作。氦 星光联承担了激光通信终端的研制工作。

作为计算卫星的核心载荷, 之江实验 室研究突破的星载智能计算机,把卫星算 力从T级提升到P级,实现10-100倍的 提升。星载高通量路由器作为星座天地网 络互联的核心设备,将完成星间、星地和 之江实验室供图



▲之江实验室李超(左一)及其团队在科研一线。



▲星载智能计算机。 之江实验室供图

◀"三体计算星座"首发整轨卫星示意图。 之江实验室供图

星内百G比特高速率、低延迟网络传输。 天基分布式操作系统就像"星座资源管 家",能对星座的算力、存储、网络等资 源进行统一管理, 实现在轨计算任务编排 调度及应用状态监测。首发卫星搭载的 80亿参数天基模型是业内首个多任务模 型,为星座增加了智慧大脑,能够调度卫 星协同处理多源遥感数据, 在轨自主完成 对地观测任务。

"人工智能不能因为缺失算力而缺席 太空。"王坚表示,"三体计算星座"的构 建,将大大拓展太空应用的边界,未来希 望通过这个星座, 让老百姓也能便利地用 上计算卫星、遥感卫星等带来的服务,这 对空天产业的变革具有深远意义。

中国科学院院士、国科大杭州高等研 究院院长王建宇表示:"从国际上来看也 好,在国内来看也好,专用的计算星座,第 一次在太空上开始组网了。这个计算星座 最大意义就是把大的计算能力搬到天上, 在太空当中变成一个基础设施,为我们国 家以后大型的卫星网络提供计算的能力。"

#### 翻越大山

今年春节前,团队面临十二星联调的 艰巨任务。星载智能计算机专项总师宫禄 齐介绍,串联测试一旦后台系统显示异常, 他们就得从1000多根交织如麻的线缆中, 迅速定位问题,找到相关硬件进行调试。

"大家看这张十二星联调期间工作台 的照片, 要在如此复杂的线缆中定位一根 线缆,难度极大,而且全程都得弯腰俯 身。"宫禄齐说。一天下来,腰酸背痛是 常态,最辛苦的一天,他们在里面整整待 了20个小时。

宫禄齐回忆, 白天累得精疲力竭, 晚 上回到家躺在床上, 脑子却还在高速运 转,满是星座研制的各种问题:这里调试 好了吗? 那里会不会出现"bug"? 常常失 眠到凌晨三四点,实在睡不着,索性起床 接着干,只有看到代码正常跑起来,心里 的焦虑才能稍稍缓解。

太空计算软件专项总师张辉也是如 此,不管前一晚几点入睡,早上7点一定 会准时醒来,然后立刻起床投入工作。

总体部的每一位成员,都背负着巨大 的压力。李超也曾坦言,项目难度是原先 预计的两倍。他们要面对全新的技术,对 硬件进行改造,解决上千个"bug",而且 几乎没有前人经验可供借鉴, 只能边学边 摸索,但交付时间就像前方巍峨的大山, 等着人们在落日前翻越。

一次调研中,之江实验室的工作人员 偶然抓拍到一张照片,两位团队成员正在 讨论项目进展,突然间吵起来了,"战 况"持续了很久。

后来,其中一位老师解释,这不是吵 架,这是讨论工作声音大了一点。之所以会 有这样的激烈争论,是因为彼此把对方当 作最亲密的战友,把项目视为自己的全部。

项目刚立项时,各个专项之间、科研 人员之间关系没那么紧密,大家只专注于 自己手头"一亩三分地"的工作。但随着 项目推进,大家渐渐意识到,这种状态根 本行不通。因为星座研制是一个庞大的系 统工程,任何一个环节出问题,都会影响 整个项目的成败。

于是,大家开始相互配合、互帮互助, "把后背交给对方"。团队中的争吵和摩擦, 其实是一个不断磨合的过程。如今,只要有 一个专项需要协同,其他专项定会迅速响 应,立刻集结,展开头脑风暴,第一时间解 决问题,确保项目整体有序推进。

李超在很多场合说过一句话,能参 与这么大的系统工程,对一个科研人员 来说,是非常难得的机遇。其中所展现 出的"忠诚、无我、超越"的之江实验 室文化价值观, 感染和鼓舞着团队的每

#### 中青报·中青网记者 邱晨辉

如果把超级计算机 比作物流中心,数据处 理就像物流出货。如何 更高效地"出货"?

有人选择"把货物 放在离出货口更近的位 置",即通过内存优化让 数据贴近处理器;也有 人将"大包裹拆分成小 包裹",借助并行计算让 CPU与GPU分工协作, 同样可以提升数据的处 理效率。但无论哪种策 略,核心都指向同一命 题:如何在有限的资源 中获得更高的性能?

2025 ASC世界大学生 超级计算机竞赛总决赛 上,这道命题被具象化 为一场"极限挑战"。来 自全球的25支大学生 队伍,需要在4000瓦功 耗限制下,完成小型超 算集群的搭建,并优化 运行国际通行基准测试 HPL 和 HPCG、Alpha-Fold3 推理优化、RNA 甲基化修饰位点检测、 DeepSeek 推理优化、字 宙中微子探测模拟等前 沿科学与工程应用。

度竞赛,而是用创新思 维解锁算力的更多可 能。"ASC组委会委员刘 羽告诉记者,随着超算与 智算的边界出现交融的 趋势,既深谙超算系统 设计优化又了解前沿 科学技术应用的"π型 人才",正成为刚需。

作为中国发起、全 球参与人数最多的超级 计算机竞赛, ASC竞 赛一直以来都扮演着前 沿技术探索的实验场。 今年的赛事命题,暗含 着技术演进的深层逻辑。

在计算专家看来, 当前超算与AI的 协同发展正经历三个阶段:第一个阶段是 赋能 AI, 超算为 AI 提供算力助推剂;第 二个阶段是借力AI,用AI优化计算系统 智能化;第三个阶段就是融合AI,构建 内置智能引擎的新范式。

这种演进在本届赛题中尤为明显。以 最受关注的"DeepSeek推理优化"为例,参 赛队伍需要基于DeepSeek-R1-32B设计 并部署一个仅使用CPU的大语言模型推 理服务系统, 在保证推理结果正确性和 系统吞吐的前提下,尽可能缩短各类任 务的推理时间。

在刘羽看来,这要求年轻的大学生们 对于大模型推理系统有更深刻的洞察: 如 何用好集群的算力?如何针对延迟优先和 吞吐优先的不同推理任务,做好整个推理 服务的任务调度?

这场看似"螺蛳壳里做道场"的技术博 弈,实则藏着产业界的真实需求:当前,以 千亿级参数为代表的尖端模型持续突破智 能边界,通常需要高性能计算设备支持其 复杂任务处理;而以百亿参数为代表的 "中小型模型"凭借优异的性能与适中的 计算需求,正成为产业智能化升级的主流 选择。根据 IDC2024年最新报告, 当前 超过70%的企业核心系统仍运行在CPU 架构上, CPU 无须额外改造即可快速部 署 AI 能力,显著降低硬件投入成本,助 力企业高效实现大模型的应用落地。

"将大模型 CPU 推理设为赛题,就是 要直面产业落地的真实痛点,探索通用算 力潜在的可行性方案。"刘羽说。

也因此,在不少参赛学生看来,这不是一 场编程考试,也不是硬件装机大赛,而是一场 展现体力、智力与协作力的科技界铁人三项。

在前两个比赛日,已经熟悉并行计算 技术的各支团队,需要亲手设计、安装性能 均衡的小型超算集群,并且需要通过 HPL、HPCG 两项基准测试。HPL 基准测 试相当于超级赛车的直线加速赛,需要在 最短的时间内跑出最好的成绩。HPCG相 当于让这辆超级赛车,通过复杂的城市路

段,考验其均衡性。 '看似是比拼硬件算力,实则是软硬 件协同优化与战略布局的智慧博弈。"刘 羽说,参赛队伍必须根据现场所公布的赛 题特征以及自身的技术优势, 作出四重关 键决策, 动态调整、团队分工, 对计算资

源的运筹帷幄,对技术路线的审时度势。 青海大学计算机学院院长翟季冬认 为,培养具备软硬件协同优化能力的工程 创新人才已成为时代命题。通过将计算机 学科与众多一流学科进行交叉融合,不断 促进大学生学习多种学科知识,掌握多种 工程优化技术, 以培养具备系统性工程能 力的跨学科人才。

这种培养模式已初见成效。齐鲁工业 大学生物工程专业学生李京鸿连续3年作 为主力参加ASC比赛,不仅可以选择生物 工程方向的工作,也可以选择计算机、AI for Science等方向的工作……

正如ASC专家委员会主席、图灵奖获 得者、田纳西大学杰出教授杰克·唐加拉所 言:"年轻人在比赛过程中展现出的对新兴 技术的着迷、直面复杂挑战的无畏勇气,以 及跨越边界的协作精神,共同点燃了学生们

探索、创新并最终实现自我突破的火种。" 在他看来,超算的未来在于从速度竞 争到价值创造的转变,而这一切变革的核 心驱动力在于人才,特别是具备 AI+X 跨 学科能力的青年科技人才。

## 中青报·中青网记者 王烨捷

中国天文观测将再添利器。

日前,上海交通大学宣布,由该校 牵头建设的我国首个大型通用光谱望远 镜 JUST (Jiao-tong University Spectroscopic Telescope,简称JUST)落户青海 冷湖并开启基建项目建设。JUST建成 后,将标志着国产大型通用光谱望远镜 实现新的突破。

JUST光谱望远镜口径4.4米,主镜 由18块正六边形薄子镜拼接而成,采 用轻量化设计, 具备口径大, 集光能力 强、响应快速等优势。望远镜配备3台 高性能观测终端,分别对应三大科学 目标: 其中多目标光纤光谱仪用于研 究黑暗宇宙, 积分视场光谱仪用于追踪 动态宇宙, 高分辨光谱仪用于探测系外 行星。

#### 为何"定居"冷湖

望远镜是开展天文观测、支撑天文 研究的核心设备。然而, 国内大型先进 观测设备有限,天文界过去长期依赖国 外望远镜从事天文研究,通过国际合作 或支付观测费用获取有限的观测资源。

"借用别国望远镜,不仅贵,还容 易耽误时间,耽搁研究进度。"上海交 通大学李政道研究所副所长、JUST项 目负责人杨小虎告诉记者,天文研究的 一个核心要素就是"天文观测", 尤其 是时域天文, 研究进展很大程度上取决 于"你能观测到什么"。而这种观测, 往往对时效要求极高。

"望远镜的建设方和拥有者往往有 最高的望远镜使用权限,比如我们要申 请国外望远镜的某个时间段进行观测, 往往只能选择更高观测权限的研究者挑 选剩下的时间,对方分配给我们的时间 就会相对差一些。如果你的观测时间天 气又恰巧不好,那这次观测,几乎可以 说是没有价值的。"杨小虎说。

长期以来,中国的天文学者们都渴 望拥有一台自己的大型通用光谱望远 镜,这样才能真正掌握核心观测资源。

## 零距离

### 我国首个大型通用光谱望远镜开建

# 揭秘 4. 4米"巨眼"JUST

青海省海西蒙古族藏族自治州茫崖市 冷湖镇赛什腾山, 是全球天文学家的"朝 圣之地",它的观测条件可以与世界三大 天文台址——夏威夷的莫纳克亚山、加 那利群岛以及智利的阿塔卡马沙漠相媲 美。这里自然条件得天独厚,气候干 燥,水汽值低,大气稳定度优良。冷湖 地区人烟稀少,几乎没有光污染,是具 有优秀视宁度的一流观测台址, 为天文观 测提供了绝佳的环境。

上海交通大学于2022年决定建设4.4 米口径的JUST 光谱望远镜, 经深入实地 考察,最终确定将冷湖天文观测基地赛什 腾山顶 4320 米海拔的 B 平台,作为 JUST 望远镜的安置地点。

#### 为何"捕捉"超新星

JUST 建成后,将重点聚焦三方面的科 学问题:一是充分发挥光纤数密度高的优 势,开展星系团密集场巡天观测,促进星系 团宇宙学的研究;二是利用望远镜响应快 的特点,对超新星等暂现源进行后随观测。 填补暂现源光谱观测资源的空缺;三是使 用超高分辨率光谱仪,对多个亮星进行监 测,探测系外行星,寻找第二个太阳系。

星系团是由星系组成的自引力束缚 体系,包含数百到数千个星系。比如,地球 所在的银河系属于本星系群,该星系群大 约有50个成员星系,而"星系群"可以被 理解为缩小版本的"星系团"——只有拥 有超过100个成员星系,总质量大于百万 亿倍太阳质量,才能被称为"星系团"。

距离本星系群最近的一个富星系团, 是室女座星系团 (Virgo Cluster), 最新 研究结果表明,它包含了超过3600个星 系。目前,天文学家已发现了上万个星系 团,距离最远的达70亿光年。

星系团内, 天体数目多旦分布密 集,如何全面高效地对这些天体进行光 谱观测?这就需要多光纤光谱仪,多光 纤光谱仪往往包含成百上千条光纤,每 一条光纤都能进行单独的观测。因此, 多光纤光谱仪可以同时对某个区域内的 多个天体进行观测,大大提高了光谱观

目前,世界上光纤数最多的望远镜是 美国 Nicholas U. Mayall, 口径为4米。 它拥有5000根光纤,目前正在进行暗能 量光谱仪星系光谱巡天。但是,这台光 谱仪的光纤密度并不高, 在星系团这种 密集区域的星系观测覆盖率,仅约

JUST 望远镜建成后,将拥有约 2000 根光纤,虽然光纤数目并非最多,但它的 光纤数密度却是全球最高的, 尤其适合开 展星系团的光谱观测。

此外, JUST 望远镜的响应速度比较 快,非常适合对"超新星"等有时效性的 暂现源进行后随光谱观测证认。

"超新星"是恒星演化过程中的一个 阶段,虽然这类天体的名称是"超新 星",但它并不是新形成的恒星,而是特 指大质量"晚年恒星"发生的一种爆炸现 象。宇宙初期只有氢元素和少量的氦元 素,组成地球以及人类的众多元素,都是 在恒星演化以及超新星爆炸时产生的,正 所谓"你我皆星尘"。

因此,超新星爆炸被认为是一个"重 元素创造的过程",研究超新星,有助于 人们理解生命所需元素的宇宙来源。

"读懂超新星,实际上就能了解恒星 演化的具体过程。"杨小虎告诉记者,超 新星是一个动态的爆发过程, 捕捉到这一 过程并对它进行光谱证认, 以分析其中的 元素组成、运动速度及分类等, 对研究字 宙的化学演化、恒星生命周期及重元素起 源至关重要。而且超新星作为一种标准烛

光,对研究宇宙起源也尤为重要。

我国已有的墨子巡天望远镜和将要升 空的中国空间站巡天望远镜,都可以"捕 捉"超新星,预期每晚会发现几十到上百 个超新星以及其他类型的暂现源。

"但现有光谱望远镜的观测能力严重 不足,不能及时对这些暂现源进行后随观 测。"杨小虎说, JUST 建成后, 将会填补 国内大型光谱观测设施的空缺,对有高研 究价值的暂现源进行光谱证认观测,为进 一步研究这些候选目标天体的物理本质提 供帮助。

#### 为何耗时近10年

据了解, JUST 的建设将耗时近 10 年,项目总共分为两期工程。第一期为 2023年至2027年,聚焦望远镜本体和终 端建设工作,按照计划,2026年将完成 JUST 先导望远镜, 2027年建成 JUST 光谱 望远镜并获得首光。第二期为2028年至 2032年,将用5年时间对望远镜及终端设 备进行升级,进一步提升光谱巡天观测能 力和效率,为宇宙大尺度结构与星系演 化、系外行星探测研究提供具有长期科学 价值的基础数据。

在青海冷湖赛什腾山上"放"一台 望远镜,为啥要耗时那么久?杨小虎告 诉记者, JUST 的建设过程,每一步都充 满挑战。

比如,从望远镜本身来讲,一个4.4 米口径的主镜, 让它时刻保证最佳的镜面 形状,就需要在主动光学领域具备最先进 的镜面校正技术,以消除望远镜光学系统 及支架受重力和温度影响引起的变形。

其次是光纤定位, 在地球上观测天

精度。"杨小虎说,这样才能保证在同一 个焦面上一次性精准地"看到"2000个 天体,"只有对得准,才能看得到"。 他打了个比方:这就像是用2000个 针尖, 同时精准戳中2000个只有发丝直 径十分之一的地方,难度极高。 除望远镜本身外,望远镜的软件设 计也至关重要。科学家使用望远镜开展

体,望远镜观测的跟踪精度要好于0.1个

角秒。"光纤定位系统对准精度要求达到

10 微米, 且 2000 根光纤都要有这个对准

"我们还要考虑到望远镜使用的经济 性。"杨小虎说,如果科学家在测光巡天 观测中突然发现一个超新星候选体, 他需 要JUST光谱望远镜后随观测来确认"它 是不是超新星"。这时,望远镜正在进行 的光谱巡天观测是否就要暂停了呢?

巡天观测要制定一个观测策略, 也就是

为所有期望观测的上千万候选天体,制

定一个观测程序,这需要一套先进的软

按照JUST 的软件设计思路, 遇到这 种情况,会采用预留的一个光纤束来观 测这颗超新星,剩下的2000根光纤则需 要跳出原来的计划, 重新编排超新星所 在位置尚未被观测的候选天体, 开展巡

"我们期望这种临时调整能够在2分 钟之内完成。"杨小虎说,望远镜的有效 观测时间很短,一个晚上总共只能看4-6 小时,这种有"意外发现"的情况如果出 现两三次,调整时长又太长的话,会极大 地影响观测效率。

他告诉记者, 建成后的 JUST 有望每 年产生超过1PB的观测数据,相当于20 万部高清宇宙纪录片。这将为中国天文学 研究提供前所未有的数据支持, 助力中国

天文学家取得更多原创性的重大发现。

# 在刚刚结束的 "这不是单纯的速