

为“人造太阳”锻造“赤霄光剑”

■本报记者 王敏

近日,在安徽合肥的聚变堆主机关键系统综合研究设施“夸父”园区内,中国科学院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所副研究员、“赤霄”集成与调试负责人杨鑫正用流利的英文向法国来访学者介绍“赤霄”装置。

一年前,该装置顺利通过专家组鉴定。中国由此成为继荷兰之后,国际上第二个拥有此类高参数装置的国家。一时间,“中国‘人造太阳’配上‘赤霄光剑’”“他们真的造了把‘光剑’”的信息迅速冲上网络热搜,来园区参观的人络绎不绝。

然而,很少有人知道,锻造这把“光剑”的是一支年轻科研团队,主要研发成员中女性占比超 70%。今年,这支团队被授予“中国科学院三八红旗集体”荣誉称号。

“目前,我们正在对装置进行新一轮改造升级,为向更高的参数发起冲击做准备。”杨鑫告诉《中国科学报》。

从零开始搭建

万物生长靠太阳。20 世纪中叶以来,人类致力于研究可控核聚变实验装置,这种被称作“人造太阳”的大科学装置内部有与太阳类似的核聚变反应机制。

“人造太阳”在运行时,核心温度高达上亿摄氏度,任何已知材料放进去都会瞬间熔化。“赤霄”就是为了解决这个难题,寻找和测试能承受高热流和强粒子冲击的壁材料。

“你可以将‘赤霄’理解为一台‘超级材料测试机’。”杨鑫说,它的任务是在实验室里模拟未来“人造太阳”内部的极端环境,对候选材料进行测试。只有经得起“赤霄”考验的材料,才能被用在未来的聚变堆上。

在厂房内,记者顺着杨鑫引导的角度看“赤霄”,它的流线型结构宛如一把宝剑。“赤霄”全称是强流超导直线等离子体装置,其名源自中国古代十大名剑之一的赤霄剑,寓意其能在核聚变研究领域披荆斩棘。”

然而,4 年前,这里还只是一间仅接通了水电的毛坯厂房。部分关键部件即将进场,项目交付迫在眉睫。一直从事直线等离子体装置研制的杨鑫,正是于此时被委以重任,负责“赤霄”的集成与调试。

摆在她和团队面前的是张复杂的“考卷”。她首先给厂房“精装修”,完成水电管路、抽气管道、水冷系统、地坪铺设等设备进场前工作。

紧接着,更紧急的任务是要把装置主机、超导磁体、等离子体源、诊断以及控制 5 个分系统整合到一起。“如何连接、如何安排装配顺序,都蕴含着精密



“赤霄”团队部分成员合影。
受访者供图

的系统逻辑。”杨鑫坦言,即便是一颗螺丝没拧紧或是使用错误,都可能“牵一发而动全身”,引发连锁反应。

最令杨鑫头疼的是部分关键部件交付延期。例如,用于测量等离子体参数的靶板工艺复杂,厂家未能按时交付。面对这一突发情况,杨鑫决定迅速启用预研平台上的旧靶板进行替代。但旧靶板无法旋转。团队集思广益,提出了一个极其朴素但有效的“土方法”:先利用强流等离子体束在靶板上打出印记,再用激光笔精准标定好对应位置,最后人工微调靶板的摆放位置,精准完成靶板对中校准。

类似的问题一个接一个。“有时候,大家很焦虑,现场吵得面红耳赤。吵完了,冷静下来,又继续干活。”杨鑫回忆道。

不过,干活有个原则:任何人不能通宵工作。“我们人员有限,无法换班,累了就必须停下来。我反复强调,绝不能疲惫时做任何决定,尤其是关键调试。一旦出错,损失可能会很大。”

正是凭借这股子韧劲与理性,团队在 2024 年 12 月完成总装,装置第一次联调联试中成功放电。

2025 年 1 月 14 日,“赤霄”迎来“大考”。经中国科学院专家组现场测试鉴定,该装置各项性能达到设计指标,最大粒子流大于 10 的 24 次方每平方米每秒,单次放电时间超过 1000 秒,最高中心磁场大于 3 特斯拉,是目前国际上综合参数水平最高的直线等离子体装置。

“有了‘赤霄’,我国科学家再也不用远赴荷兰做材料测试了。”杨鑫的话语中满是自豪。

“以结果为导向”

加入“赤霄”团队前,中国科学院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所

工程师周卫云已在研究所研制中心工作多年,参与过高能同步辐射光源、全超导托卡马克核聚变实验装置等大科学装置的设计。她属于既能懂科学家要什么,又能独立完成工程设计,还具备一定科研能力背景的人。

杨鑫向周卫云发出邀请时,直接说明了“赤霄”进展中的问题:负责生产部件的厂家缺乏经验,急需一位能在工程上指导对方且能把握“科研需求—工程设计—工艺落地”链条的人。

而真正打动周卫云的,是杨鑫的承诺:“我们团队很团结,氛围很好,我会给你权限,只要实现目标就行。”这种“以结果为导向”的信任让周卫云当即答应加入。

在研制中心时,周卫云已经在研发“赤霄”关键子系统——等离子体源。加入团队后,她的担子更重了,负责整个装置的工程落地技术支持。

在与厂家的首次对接会上,她针对靶板、真空室等关键部件提出了 34 条整改意见。

最让她费尽心思的是等离子体源的研发。“等离子体放电通道热负荷高达 20 至 30 兆瓦每平方米,热流密度接近太阳表面辐射水平,相当于指甲盖大小区域就要承受数千瓦的热功率。如何在以天为单位的时间里实现长时间、稳定放电,是巨大的挑战。”

为此,周卫云带领团队耗时 3 年,设计研发并迭代了三代高密度等离子体源,满足了等离子体束流密度大于 10 的 24 次方每平方米每秒、可连续放电 24 小时的要求。

“我们团队氛围非常好,大家想的都是怎么把事情做好,从不计较个人得失。”周卫云说。

中国科学院合肥物质科学研究院

等离子体物理研究所实验师秦香红从事的也是工程设计方面的研究,主导完成主真空室系统、抽气系统机械设计,负责各子系统进场的接口确认与装配指导。她有着同样的感受:“团队凝聚力非常强,氛围和谐,项目进展中遇到问题时,大家总是一起讨论,想办法解决。”

不给自己设限

每平方米每秒秒钟极速喷射出亿亿亿个粒子!这个数据如何测量得出?这要归功于中国科学院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所副研究员徐倩负责研制的水冷探针诊断系统。

“我之前没做过诊断设备,只分析过探针采集的数据。”接到任务时,徐倩心里直打鼓。但领导一句“你是研究室最懂鞘层物理的”,给了她莫大的鼓励。

徐倩介绍,设计探针的第一个难关是密封与绝缘。水冷探针内部既要走冷却水,又要传输电信号。密封做不好,冷却水渗漏直接短路;绝缘处理不好,信号就被干扰测不准。机械密封、电气绝缘、信号传输三个条件必须同时满足,任何一个环节出错就全盘失败。

第二个难关是既要“扛得住”,又要“测得准”。“赤霄”装置运行时,热负荷超过 10 兆瓦每平方米,普通探针刚伸进去就被烧毁,所以必须做水冷,让探针足够“粗壮”,才能在极端热流下不被烧蚀并保证上千秒连续测量。但从测量角度来说,探针越粗,采集电流越大,测量精度越难保证。

经过不懈努力,徐倩攻克了大电流下的信号保真采集和高热负荷下的密封绝缘一体化设计两项核心技术。探针承受热流从 2 兆瓦每平方米提升至 10 兆瓦每平方米以上,寿命延长至 50 小时,测量误差率从 50%降至 15%。

“这个任务对我来说,是把对等离子体物理的理解真正落地到工程实践的过程。最深的体会是,不要轻易给自己设限。”徐倩感慨道。

如今,“赤霄”装置已面向全球开放共享,吸引了来自日本、新加坡及国内众多高校和科研院所的用户前来测试材料性能。

“当你决心去做一件事时,全世界都会为你让路。”杨鑫说,“刚开始都很难,最重要的是去做,要敢想、敢干、敢担当。”



OpenAI 称破解数学“千禧年大奖难题”



本报讯 据《自然》报道,美国开放人工智能研究中心 (OpenAI)9 月 8 日对外宣布,研究人员得出了流体最常用模型——纳维-斯托克斯方程的求解结果,证明该方程会出现失效。这种失效现象是否真实存在,是美国克雷数学研究所在 21 世纪初提出的七大“千禧年大奖难题”之一,正确解题者可获得 100 万美元奖金。

“见证人类对数学的认知取得重大进展,这无疑激动人心。”克雷数学研究所所长 Martin Bridson 表示。

OpenAI 的计算机科学家 Ven Chandrasekaran 在新闻通报会上表示:“我们的证明表明,存在一类初始状态完全正常的流体,在纳维-斯托克斯方程的推动下,会在有限时间内达到无穷大速度。”他指出,液体、气体这类现实世界的流体不可能出现该物理现象,这意味着在特定条件下,这套方程或许无法真实可靠地反映物理现实。

OpenAI 的数学家 Sebastian Bubeck 表示,为攻克这一难题,OpenAI 为单一

任务投入了前所未有的算力资源。研究团队调用 1000 个 AI 智能体,耗时 50 小时,先完成问题的简化求解。“随后我们决定挑战完整的纳维-斯托克斯方程问题,进一步加大计算资源投入,动用 1 万个 AI 智能体开展运算。”在 88 个小时的攻坚下,最终于 9 月 5 日获得结果。

9 月 7 日,美国哈佛大学的 Levent Alpoge 与纽约大学的 Tristan Buckmaster 发表了一篇论文。论文中,他们针对无黏度这一简化条件,同样得出流体会出现速度趋于无穷大的解。研究过程中,他们同时使用了美国 Anthropic 公司的 Claude 模型,以及 OpenAI 的 Codex、Astra 模型。二人还表示已经得到这个问题的完整解,后续很快会对外发布。

同一天,美国加州理工学院的 Anima Anandkumar 及合作者也公布了无黏度条件下同一问题的求解结果。他们没有使用通用大语言模型,而是依靠物理信息神经网络完成推导。

七大“千禧年大奖难题”此前仅有一道得到解决,但完成证明的数学家拒绝领取奖金。OpenAI 也表示,不会申请这笔奖金。OpenAI 的研究人员称,他们一直在用最新 AI 原型模型尝试破解其余尚未解决的“千禧年大奖难题”。(王方)



2026 年服贸会北京开幕

9 月 9 日,2026 年中国国际服务贸易交易会(服贸会)在北京首钢园开幕,各式各样的人形机器人亮相,吸引观众关注。

作为“十五五”开局之年的国家级服务贸易综合型展会,90 个国家(地区)、国际组织设展办会,首次设立中国服务案例展,1800 余家企业线下参展,一批新技术、新服务、新方案迎来首发首展。

图为机器人在演奏编钟。

图片来源:视觉中国

我国特色锂矿石伴生铷铯资源 高效绿色分离技术获突破

本报讯(记者甘晓)近日,由中国科学院过程工程研究所(以下简称过程工程所)、赣锋锂业等合作建成的全球首套年产 500 吨连续塔式萃取分离特色锂矿石伴生低品位铷铯示范线,实现全流程稳定达产运行,产品碳酸铷、碳酸铯纯度均达到 99.9% 以上,并已上市销售。该示范线的达产运行标志着我国低品位伴生铷铯资源高效绿色分离技术取得重要突破,为我国铷铯资源的高效、绿色利用提供了坚实保障。

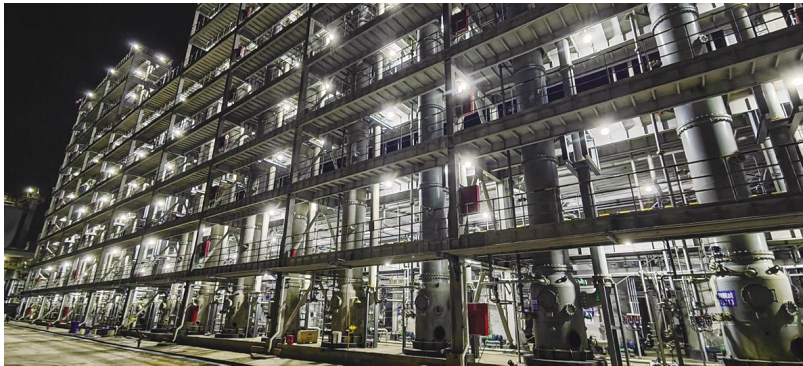
铷铯石是提取铷元素最主要的工业原料,然而我国目前已无独立可采的铷铯石矿,现有铷铯资源主要伴生于特色锂矿石与盐湖卤水中。溶剂萃取法是铷铯分离的主要方法,但因目标元素浓度低、杂质离子浓度高,萃取分离难度大幅增加,长期存在设备数量多、萃取剂用量大、分离成本高、产品纯度低等瓶颈。

由中国科学院和江西省政府联合支持的中国科学院关键核心技术攻坚先导专项(C 类)暨江西省科技重大专项“2030 先锋工程”——“特色锂矿石无害化资源化利用技术”,针对上述问题进行重点部署。过程工程

所与赣锋锂业等骨干企业合作,成功研发出具有自主知识产权的高效铷铯塔式微分逆流萃取强化装备,以及适用于二氧化碳反萃过程的“气-液-液”三相反萃塔。这套设备具有体积小、萃取剂用量少、密闭性强等优点。单套萃取塔效率最高相当于 15 个传统萃取槽,萃取剂用量比萃取槽减少 40%,设备占地面积减少 50% 以上。

在此基础上,团队设计了全球首套由 17 座萃取塔组成的千吨级碳酸铷铯连续萃取分离工业装置。近日该装置在赣锋锂业全面建成,并一次性开车成功,实现连续稳定运行。提锂后的铷铯浸出液通过“萃取—洗涤—反萃”分离制备得到碳酸铷、碳酸铯产品,铷萃取综合收率 >98%,铯萃取综合收率 >95%,产出高纯碳酸铷/铯产品,并实现批量上市销售。

该示范线的成功运行,推动了萃取塔技术在我国关键金属萃取分离过程中的应用,形成了新一代特色锂矿石伴生铷铯资源高效绿色分离技术,是“特色锂矿石无害化资源化利用技术”先导专项的标志性成果之一,对保障我国特色锂矿石开发利用和铷铯资源安全供给具有重要意义。



千吨级碳酸铷铯塔式连续萃取分离示范线。 科研团队供图

来自3 亿年前“冰室”的警示

■本报记者 张楠

当今地球正处于冰室气候背景下,大气二氧化碳(CO₂)浓度不断上升,全球气候变暖加剧。如果不加以控制,本世纪末海水表层温度可能升高 1.5~2.0℃,进而增加跨越气候临界点和生物灭绝的风险。

而 3 亿年前,地球正处在大冰期,南极被厚厚的冰盖覆盖,同样经历了一次急剧升温。那次变暖使全球平均地表温度上升约 7.5℃,海洋缺氧,生物变小……尤其值得关注的是,当时 CO₂ 浓度从约 300ppm(百万分之一)飙升到了 700ppm——这一浓度区间,正是今天地球正在经历的水平。

近日,中外科学家合力揭开了这次“冰室中的极热事件”的面纱,同时为人们今天的处境敲响警钟。相关研究成果发表于美国《国家科学院院刊》。

3 亿年前的“冰室”

卡西莫夫期与格舍尔期之交,牙形刺的氧同位素值出现了一次明显“跳水”,这表明海水温度经历了一次快速上升。研究团队将这次事件命名为卡西莫夫期-格舍尔期极热事件(KGTM)。

研究发现,这次升温并非一次性发生,而是分两步走。第一步,缓慢“热身”。初始阶段低纬海水表层温度升高约 2℃。这个过程持续约 6 万年,像一场温和的“预热”。第二步,急速冲刺。主阶段温度迅速攀升约 3.5℃。而这一次只用了约 3.5 万年,升温速率远高于初始阶段。

研究人员通过地球系统模型将牙形刺已记录的温度数据转换为全球尺度,结果显示,KGTM 期间全球平均地表温度共升高了约 7.5℃。大气 CO₂ 浓度从约 300ppm 猛增到 700ppm。

“这一浓度区间,恰好包含了当今地球所处的气候状态。”要告诉《中国科学报》。

谁点燃了这把火

那么,3 亿年前这场“高烧”是怎么形成的?研究团队从两个角度展开了追踪。

首先是火山活动。汞是火山喷发释放到环境中的标志性元素,因此科研人员测量了岩石中的汞同位素和汞含量。结果显示,在 KGTM 的初始升温阶段,汞同位素 Δ¹⁹⁹Hg 维持高值,且汞含量与总有机碳的比值明显升高。这是典型的火山活动信号,说明区域性火山喷发释放的 CO₂ 正是最初那“第一把火”。

然而,到了升温迅速的主阶段,火山信号反而消失了。那么,后续的巨量碳排放又来自哪里?

研究团队把目光投向了轨道力。地球绕太阳运行的轨道并非一成不变,而是受偏心率、地轴倾斜度等天文参数调制,周期性地改变太阳辐射的分布。这好比地球有一个天然的“节拍器”,控制着冰期—间冰期的节奏。研究团队将牙形刺氧同位素曲线与 40.5 万年和 10 万年的偏心率周期进行对比,发现高温期恰好对应偏心率的高值期。

这意味着初始火山升温之后,天文轨道的胁迫作用增加了高纬度太阳辐射,进而加速了冰盖的融化和冻土层的解冻。这些冻土中封存的大量有机碳经升温释放,进一步推高了大气 CO₂ 浓度,带来更强烈的升温,形成了“升温—释碳—再升温”的气候正反馈作用。地球气候系统最终突破了临界阈值,引发了巨量碳排放和主阶段的快速升温。

研究人员还对比了速率相当但幅度不同的升温事件,发现升温的速率和幅度共同决定生物多样性的变化。

“这项研究表明,在冰室背景下小幅度的初始升温就有可能触发一系列连锁反应,跨过气候阈值,酿成快速变暖、海洋恶化和生物多样性丧失的后果。”要乐指出,今天的我们,正站在这条升温链的起点上。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1073/pnas.2601643123>

“古温度计”揭示的两段式升温

要复原 3 亿年前的海水温度,离不开一类特殊的化石——牙形刺。这是一类已灭绝的远古海洋动物的微小齿状骨骼,它个头虽小,但氧同位素组成却能忠实记录其生存时的海水温度。这就好比一把天然的、埋藏在岩石中待读取的“温度计”。

利用二次离子质谱技术,研究团队对华南的纳穴、纳饶以及俄罗斯乌索卡等 3 个剖面的牙形刺化石进行了微区原位氧同位素分析。这种技术消耗的样品量极少,仅纳穴级别,却能获得高精度的氧同位素数据。

结果令人意外,在大约 3 亿年前的