

中核集团首席科学家、“超碳一号”总设计师黄彦平——

勇闯超临界二氧化碳发电“无人区”

本报记者 苏 滨

因弘扬科学家精神

人物小传

黄彦平,1968年12月生,湖北天门人,中核集团首席科学家,“超碳一号”总设计师。他长期从事先进核动力和新型能量转换技术科学理论、技术创新与工程应用研究,带领团队通过17年技术攻关和自主研发,实现了超临界二氧化碳发电技术从理论到工艺的全链条贯通,将超临界二氧化碳发电技术从实验室推向工程应用。先后获得国家科技进步奖一等奖、国家技术发明奖二等奖、全国创新争先奖。

走进贵州六盘水首钢水城钢铁集团厂区,抬眼便是一幅奇妙的画面:一边雾气腾腾,水蒸气裹着钢铁余温,慢悠悠飘向山边;另一边清清爽爽,阳光落在银亮的设备上,连管道的棱角都看得清清楚楚。为何会有这种反差?答案藏在“超碳一号”的管道里。

今年5月底,“超碳一号”示范工程第二台机组并网发电,全球首个超临界二氧化碳发电技术示范工程全面建成。“将传统发电技术的循环工作介质从水蒸气换成超临界二氧化碳,可以显著提升余热利用率,从而减少能源消耗。”中核集团首席科学家、“超碳一号”总设计师黄彦平介绍。

“迈向新领域,就要负重前行”

二氧化碳还能用来发电?2009年的一天,黄彦平收到了一张纸条,由中国工程院院士孙玉发手写,并托人转来,上面只有一句话:国外正在研究超临界二氧化碳发电,很多人觉得不可能,你是否愿意试试?

当时,超临界二氧化碳发电仍停留在理论探讨阶段,工程化应用更是一片“无人区”。但纸条上的寥寥数语,让黄彦平陷入深思:“用超临界二氧化碳作为发电的循环工作介质,直接颠覆传统发电模式,万一可行呢?”

物质分为多种相态,常见的有固态、液态、气态,超临界态是第四种相态。当二氧化碳被加热到31摄氏度以上、加压到73个大气压以上,就会进入超临界态,化身“超碳”。

无论是火电、核电还是余热发电,原理都类似于“烧开水”,把水加热变为水蒸气,推动汽轮机转动发电。这种模式设备庞大,响应迟缓,越来越难以满足新能源快速调峰的需要,也难以适应工业余热发电的特点。相关技术虽不断改



黄彦平(左)在做实验。

进,但仍未突破这些根本性局限。

“超碳兼具液体的高密度、气体的低黏度,作为能量传递和热功转换的循环工作介质,不会发生相变,用它发电既能提高发电效率,又能缩小设备体积。”黄彦平带着一名学生,组建了最初的团队。没有现成经验,缺少成熟的理论体系,他们只能摸着石头过河,“迈向新领域,就要负重前行。”

但最初“超碳”的研究并不被看好。“放射性气体怎么可能发电?”“配套的换热器和涡轮机怎么造?这是自讨苦吃。”……同行的质疑让黄彦平倍感压力。

“压力最大的时候,我就翻翻历史书,让自己抽离出来,看看那些大家的成长史,觉得自己经历的也不算啥。”对基础研究的敏感让黄彦平坚信,这条路值得走。

2010年,黄彦平搭建起简单的自然循环实验装置。看到超临界二氧化碳平稳流动、速度远超预期,他倍感振奋,判断这个技术肯定能成。

“核心技术握在自己手里,心里很踏实”

“超碳一号”能成功运转,换热器是关键。要在一片不锈钢薄板上,精准加工数百条直径为1毫米的通道,再将数千片薄板的通道对齐,精准焊接,误差不能超过一根头发丝的1/10,才能保证长期稳定运行,不泄漏、不串通道。

“超临界二氧化碳物理性质特殊,传统换热器体积大、效率低,难以适用。”当时国外一家公司具备制造能力,团队多次接洽,结果被告知拒绝供货。“当时就觉得,核心技术买不来,更讨不来。既然不卖,那就自己干!”黄彦平回忆。

黄彦平在国内科研院所寻求技术支持,结识了西北工业大学的焊接专家,他们判断,新型换热器要用真空扩散焊。

研究团队几乎从零起步,朝着目标一点点迈进:前后27次优化技术方案,陆续迭

代218版技术参数,报废样品堆了半间仓库。实验室灯光昼夜不息,就这样熬了829天,团队焊出了合格部件,还研制出大尺寸真空扩散焊机。

“回过头看我们走的这段路,尽管花费大量时间精力,但核心技术握在自己手里,心里很踏实。”黄彦平说,新型换热器的体积缩小至传统换热器的1/10。

随着超临界二氧化碳发电技术进入最为关键的实验室小规模发电验证阶段,黄彦平迎来科研生涯最煎熬的一段时光。

起初机组正常运行,但是随着负荷加大,就容易出现掉机情况,迟迟达不到满负荷状态。

“难道还有技术问题没吃透?”黄彦平带着团队,一遍遍给机组做“体检”,不放过每一个细节。

一天后半夜3点多,在北京出差的黄彦平被手机铃声惊醒,是团队同事打来的。

“黄老师,成了!”“我当时都蒙了,缓了一会儿,重新打了回去,才知道机组正处于满负荷状态。”难掩激动的黄彦平直奔机场,搭最早的航班赶回四川成都的实验室。

因记者手记

投身基础研究需要闯劲和韧劲

从开始探索,到全球首台商用机组落地,最令人动容的是黄彦平带领团队用17年啃下硬骨头的坚持。

从一张白纸起步攻关,17年磨一剑,最终把不可能变成全球首例。这份坚持,不仅换来超临界二氧化碳发电技术的新突破,也为全球低碳能源转型蹚出一条中国路线。

17年很长,长到两人的“迷你团队”成

“搞基础研究,要坐得住冷板凳”

实验室里,看到屏幕上稳定跳动的数据,黄彦平长舒一口气。

实验室小规模发电验证成功只是第一步,如何加速推动技术从实验室走向工业化应用?

转机出现在2022年8月。济钢集团国际工程技术有限公司当时的负责人高忠升来寻求商业合作。

“你们认为我这个是新技术吗?你们有资金吗?有厂址吗?”黄彦平连发三问。

看到实验室里的机组徐徐运转,高忠升给出肯定回答,愿意一起闯。

当时,首钢水城钢铁集团正在进行设备更新,相关负责人直言,不算短期风险账,只看长远发展账。有了三方合作,2023年底,“超碳一号”示范工程在首钢水城钢铁厂破土动工。

比起实验室,工业场景更为复杂,要考虑地基、海拔、气候、水文等各项条件,施工标准非常苛刻。

2025年12月,全球首台商用超临界二氧化碳发电机组成功商运。2026年5月,“超碳一号”第二台机组成功并网发电。

与传统的蒸汽余热发电机组相比,“超碳一号”示范工程设备占地面积缩减一半,发电效率提升85%以上,年发电量增长50%以上。对企业而言,每年可多发7000余万千瓦时电,发电增收超3000万元。

从最初的两人团队,到如今超过50人,历经17年持续攻关,超临界二氧化碳发电成现实,黄彦平感慨万千:“搞基础研究,要坐得住冷板凳,才能在更多前沿领域蹚出一条自主创新之路。”

目前,“超碳一号”基本可以覆盖国内钢铁冶炼、化工、焦化等行业的应用场景,正继续朝着大功率、多场景、高效率的方向发展。

“我们已经启动‘熔盐储能+超临界二氧化碳发电’项目研究,未来能适配更多工业场景,为我国实现‘双碳’目标、保障能源安全提供更多可能。”黄彦平说。

随机打乱的魔方放入设备,机械臂精准运转,几十秒便完成复原……今年7月,“数智赋能妇女和女童成果展”海外首展在土耳其伊斯坦布尔开幕,“春蕾科技女孩”公益项目受益女童自主设计编程的作品“魔方机器人”吸引中外观众频频点赞。“春蕾科技女孩”的成长蜕变正是中国儿童少年基金会(以下简称“中国儿基会”)公益实践的生动缩影。

1981年,新中国第一家国家级公募基金会——中国儿基会正式成立。在全国妇联领导下,中国儿基会45年来始终坚守为党育人、为国育才初心,致力于推动儿童少年事业发展和促进儿童少年全面发展,累计募集社会资金近80亿元,惠及儿童近8000万人次。

深耕女童赋能,守护教育公平。中国儿基会聚焦“春蕾计划”头号品牌工程,深化实施“春蕾计划——梦想未来”行动,为455万人次女童提供助学帮扶。创新打造“春蕾科技女孩”“春蕾梦想合唱团”“春蕾茁壮公益计划”等项目,提升女童数智、美育素养,赋能全面发展。“春蕾计划”获得联合国教科文组织女童和妇女教育奖,入选全球最佳减贫案例,为全球妇女儿童事业发展贡献中国智慧。

聚焦儿童需求,织密关爱网络。中国儿基会常态化运行1500余个“儿童快乐家园”,打造800余个“阳光驿站”,持续开展儿童保护、心理健康教育、家庭教育等活动,为包括留守儿童在内的约40万名儿童搭建稳定可靠的关爱服务平台;通过捐赠发放“HELLO 小孩”爱心套餐、开展“守护童年·牵手共成长”寒暑假关爱服务儿童活动等,全方位呵护儿童健康快乐成长。线上平台“新家长学院/全国网上家长学校”为超180万用户提供家庭教育指导服务;母婴健康系列活动惠及258万人次孕产妇及新生儿家庭。

强化应急担当,创新多元慈善筹资模式。面对疫情、地震、洪涝等突发灾害,累计募集应急款物近6.62亿元。45年来,1.5万余家爱心单位向中国儿基会捐赠款物,广大公众借助线上渠道踊跃参与儿童公益。中国儿基会恪守公开公正透明原则,提升项目策划针对性、实施精准度与运营规范化水平。

站在新起点,中国儿基会将深入实施新时代立德树人工程,聚焦儿童成长需求,用心用情纾解儿童家庭急难愁盼,让更多孩子成长为有理想、敢担当、能吃苦、肯奋斗的新时代好少年。

三位科学家获得2026未来科学大奖

本报北京8月13日电 (记者谷业凯)13日,未来科学大奖评审委员会公布2026年获奖名单:中国科学院生物物理研究所研究员张宏因其在揭示多细胞生物特有的自噬机制及生理功能方面作出的开创性贡献,获得“生命科学奖”;复旦大学教授赵东元因其对介孔材料的开创性贡献,包括合成控制、机制理解和工业应用,获得“物质科学奖”;北京大学北京国际数学研究中心教授袁新意因其在算术几何领域作出的奠基性贡献,特别是创立了阿拉克洛夫几何中的算术大性理论,并将其开创性地应用于一致博格莫洛夫猜想和一致莫德爾猜想,获得“数学与计算机科学奖”。

未来科学大奖创立于2016年,由科学家、企业家群体共同发起成立。大奖关注原创性的基础科学研究,旨在奖励在中国(含港澳台地区)取得杰出科学成果的科学家(不限国籍)。奖项以定向邀约方式提名,并由优秀科学家组成评审委员会专业评审。未来科学大奖目前设置“生命科学奖”、“物质科学奖”和“数学与计算机科学奖”三大奖项,单项奖金约700万元。2016年至今,未来科学大奖共评选出49位获奖者。

本版责编:张彦春 宋 宇 张智琪 本版制图:汪哲平

因工匠绝活 全国文物大工匠



绝活看点

张珮琛,国家级非遗项目“青铜器修复及复制技艺”代表性传承人,获评2025年度“全国文物大工匠”。修复一件青铜器,要经过病害调查、清洗除锈、整形、拼接、补配、作色等多道工序,既要消除与治疗器物的“病害”,又不能破坏岁月留下的痕迹。从业33年间,张珮琛不断创新修复技艺,累计修复文物1000多件。

走进上海博物馆文物保护科技中心,上海博物馆研究馆员张珮琛正理头修复一件战国时期的青铜复合剑。经历了上千年的氧化腐蚀,青铜器文物往往基体疏松空洞,格外脆弱。“别看它是金属,它现在脆得像一块饼干,掉在地上就会碎掉。”张珮琛一边小心翼翼地托起青铜剑,一边介绍。

修复前,张珮琛需要反复考虑每一个方案,想清楚不同材料、不同方法带来的结果,包括操作顺序甚至环境条件,都要反复考量确认。“宁可慢一点,也不能错一步。”

上海博物馆研究馆员张珮琛——

“文物医生”唤醒青铜古韵

本报记者 曹玲娟

张珮琛说,“一旦处理不当,一些重要信息就可能永久丢失了。”

2023年至2024年,张珮琛曾带领上海博物馆团队赴四川参与“三星堆出土青铜文物保护修复项目”。“三星堆青铜器的修复就像开盲盒,青铜、象牙、贝壳、黄金、玉器都有,文物粘连在一起,只能一点点‘抽丝剥茧’,极有挑战性,但也很有趣。”张珮琛说。

有一件戴金面罩青铜人头像,是2021年三星堆新一轮发现的6个祭祀坑中,极少见到的仍附着黄金面罩的青铜头像,颈部有大量贯穿性裂隙。团队采用医用石膏绷带固定的方法,加固后整体提取,运至文保中心进行后期保护修复工作。

后期的清理与修复工作难度更大。黄金面具厚度仅0.2毫米,两侧变形严重,耳部被挤压折叠至原尺寸的1/8,修复难度就像“把搓成一团的宣纸,慢慢变回原来的形状”。张珮琛先用竹签、不锈钢针等工具小心地清理轮廓。在清理过程中,他发现黄金面具上还留有彩绘。如何在破坏彩绘的情况下分离附着物?他想到了清理化石用的气动针笔,这套工具笔尖极细,能在显微镜下清理三叶虫的触须……在张珮琛和同事们的努力下,历时数月,这件跨越了3000年的黄金面具,终于完整地呈现在公众面前。

“职业生涯中能遇到这么多珍贵文物,是件极其幸运的事情。”张珮琛感慨,“文物修复并不枯燥。因为每一件文物都是历史的碎片,都有自己的个性,对应的处理方法

都有特殊性。”

一直以来,张珮琛与团队秉持“最小干预、尊重真实、留存历史信息、可再处理”的原则,注重有依据地修复。在修复一件商代中期青铜罍时,张珮琛没有使用传统焊接,而是采用基于钕铁硼磁体的可拆卸磁吸连接结构,为残缺部位补配三足两柱。

如今,文物修复技艺也在不断融入CT、三维扫描等现代科技,让文物修复更精准。张珮琛不断吸纳新技术,包括激光清洗、热释光检测、人工智能辅助形态复原、增强现实技术模拟拼接、材料微痕分析等。上海博物馆有一件亚腰状嵌绿松石牌饰,入藏时大量绿松石松散掉落。补几颗?什么形状?横竖排布如何?以前主要靠修复师的经验和审美去填充。张珮琛和团队借助人工智能辅助技术,开展国内外同类器资料检索、图像比对与形态分析,在已有考古资料 and 同类器研究基础上,对绿松石的形状、数量及排列方式进行辅助推演,为修复方案提供参考。

修复工作之余,张珮琛还是一名亲切热心的文博领域科普工作者。他开设自媒体账号“文物医院”,现在有超过440万粉丝。“对我来说,通过自媒体科普不只是‘讲故事’,更是用网友听得懂的语言、感兴趣的方式,把文物修复的知识展现在公众面前。”张珮琛说。

左上图:张珮琛在修复青铜器。受访者供图



8月11日,浙江湖州长兴县泗安镇的一家精密制造企业的生产车间内,设备高速运转,机器人与工人高效协同,全力赶制订单。谭云桦摄(人民视觉)