让二氧化碳发电，他们走进临界点的“深水区”

■本报记者 陈欢欢

7.38兆帕、31.0摄氏度。越过这个临界点，二氧化碳便进入一种气液不分状态，能“稠密”又“顺滑”地流动起来。利用这种特性，以超临界二氧化碳替代水蒸气作为发电工质成为目前国际上的研究热点。

近日，我国首个高参数多功能兆瓦级低碳超临界二氧化碳循环试验系统在中国科学院工程热物理研究所（以下简称工程热物理所）上海基地建成并通过验收，开始面向全国高校、科研院所和企业开放。权威第三方机构性能测试显示，该系统在24兆帕/600摄氏度下，供电功率2.28兆瓦，供电效率达32.05%，是目前国际上公开报道的最高供电效率。

“这是一次被能源转型和国际竞争逼出来的自主攻关。”该试验系统负责人、工程热物理所副研究员王波告诉《中国科学报》，在该技术从实验室走向工程应用的道路上，我国已处在全球第一梯队。



低碳超临界二氧化碳循环试验系统。 工程热物理所供图

“第四种状态”：不烧开水的发电逻辑

超临界态可以理解为固态、液态、气态之外的“第四种状态”。二氧化碳进入超临界态时，既不是液体，也不是气体，密度像液体一样大，黏度却像气体一样小。

水烧到100摄氏度会沸腾，水蒸气推动汽轮机发电，这是传统电厂的本质。而超临界二氧化碳无论怎么加热、冷却都没有“沸腾—冷凝—再沸腾”的相变过程，其优势在于省掉了中间环节的折腾和损耗。

王波表示，相比传统水蒸气，超临界二氧化碳作为发电工质是发电技术的一次颠覆性升级，其长处可以概括为“小、快、高”。

第一，设备小，超临界二氧化碳能量密度大，同等功率下系统占地可减少一半以上；第二，响应快、适应广，系统构成简单，启停灵活，从工业余热、光热到先进核能等不同温度品位的热源都能适配；第三，潜力大，理论计算表明，热源温度到650摄氏度以上时，循环效率超过50%。

据介绍，20世纪60年代，超临界二氧化碳发电的概念被首次提出，但受限于当时的材料和制造水平未能落地。真正“重新点燃”是在21世纪初。2004年，美国麻省理工学院的研究报告系统论证了它在核能等领域的应用前景；此后美国能源部于2016年投入巨资启动10兆瓦级示范项目，设计参数指向700摄氏度级高温热源。欧盟、日本、韩国纷纷跟进，全球掀起研究热潮。

我国相关基础研究从“十一五”前后开始布局，但一度面临现实困境：这项技术的核心装备国内几乎没有现成产品，又缺乏高水平的技术验证平台。为了解决这一难题，2018年，低碳超临界二氧化碳循环试验系统作为“高效低碳燃气轮机试验装置”国家重大科技基础设施的组成部分获批立项。

该国家重大科技基础设施副总指挥、工程热物理所能源动力研究中心主任徐祥表示：“要在几乎同一条起跑线上抓住机会，只能自主攻关，打通设计方法到装备制造的全链条。”

冲击“三个极限”

“超临界二氧化碳的‘脾气’很特别。”王波说，它密度大、流动顺，但是在临界点附近物性变化剧烈，而且系统回热量大，必须在更小的体积里布置更大的换热面积，来高效传输热量。

“好比既要马儿跑得快，又要马儿吃得少。”王波笑称。而在项目刚开始时，甚至连“马儿要跑到哪儿”都不明确。由于临界点附近变化剧烈，越接近临界点技术风险越大，团队在设计之初非常纠结：要提高系统效率，压缩机进口越接近临界点越好，但难度极大；远离临界点虽然技术难度降低了，却可能无法验证技术的先进性。

“由于没有经验可参考，我们犹豫了很久，最后判断技术验证更重要，决定冒险向临界点靠近。”王波回忆。

为了向临界点极限靠近，团队在攻关过程中经历了“三个极限”的叠加。

一是换热极限。他们攻关印刷电路板式换热器（PCHE）的设计制造。这是一种紧凑高效微通道换热器，相当于用造芯片的思路造换热器——在金属板上“刻”出微细流道。最终，他们把几百片刻有微细流道的金属芯板逐层叠放、焊成一体，让小体积扛住大热量、高压力，成功实现高温高压下安全工作、高效换热。

二是转速极限。透平和压缩机转速高达每分钟数万转，是普通汽轮机的数倍，转子动力学、轴承、密封都面临全新挑战。特别是二氧化碳压力高、无相变且泄漏量控制需极严格，密封材料还要兼顾冷却。为此，团队专门开发了新算法进行计算和实验验证，发现密封所需的冷却量远超此前根据经验提供的方案。

三是控制极限。王波表示，临界点附近工质密度等物性剧烈变化，压缩机工作点容易漂移，稍不留神就进入喘振等不稳定区。如何让系统“贴着临界线”安全运行，没有现成经验可借鉴，全靠一次次试验摸索，最终形成整套控制策略。

就这样，他们靠着大量的试验、计算，失败了再来，终于离理想中的“极限”越来越近。

32.05%的分量：考验的是系统集成

“超临界二氧化碳发电最大的门槛不在单个部件，而在系统集成。压缩、膨胀、回热、冷却各个环节就像组成一个交响乐团，任何一件乐器走音，整首曲子都会被拖垮。”

作为这个交响乐团的指挥，王波表示，32.05%的净供电效率是在连续稳定运行中实测出来的整机效率，证明了从整套设计方法到全部核心部件，再到控制策略的全面协同过关。

一般试验台，非标部件不宜超过两个。而低碳超临界二氧化碳循环试验系统作为开放的重大科技基础设施公共平台，要兼容不同用户的试验条件、试验模式，几乎每个部件都没有成熟方案，全部来源于研发团队和国内厂家的定制设计。

“这套试验系统要把技术跑通、跑稳、跑出数据，为高参数、大容量的商业机组积累工程经验，这些经验比数字本身更宝贵。”王波说。

目前，从国际进展看，整个领域正从试验验证走向商业示范。而我国近几年的节奏明显加快：2021年12月，5兆瓦试验机组完成72小时试运行；2025年12月，首台余热回收15兆瓦商用超临界二氧化碳发电机组在贵州六盘水成功运行。

徐祥表示，此次试验系统通过验收，标志着我国在系统集成验证上又拿下关键节点，下一步将沿着“更高参数、更大容量、更高集成度”这条主线继续攻关，逐步形成可复制的产品。同时，在应用层面，将面向先进核能、光热发电、工业余热回收、储能等领域开展研究与示范，让这项技术在不同场景中开花结果。

“这套系统是国家重大科技基础设施的组成部分，欢迎同行申请使用试验资源、开展联合研究，共同培育我国超临界二氧化碳发电装备产业链。”王波说，“后面的路还很长，需要我们一步步去攻克。”

集装箱

全国单体规模最大的教学动物医院投入使用

本报讯（记者李晨）近日，由南京市玄武区人民政府与南京农业大学联合主办的“产教融合校地同行——南京农业大学动物健康产业高质量发展大会暨教学动物医院新院首发仪式”在南京举行。会上，全国单体规模最大的教学动物医院正式投用，校地共建的动物大健康产业园同步启动，“宠物+AI”“宠物+健康”“宠物+消费”9个产学研合作项目集中签约。

参会嘉宾前往教学动物医院新址实地参观，详细了解影像诊断、百级层流手术平台运行情况以及肿瘤、中兽医、异宠诊疗等特色专科临床技术建设成效。南京农业大学动物医学院院长苗晋锋介绍，动物大健康产业园将依托“教学动物医院”与“动物医学研发中心”，瞄准新发与再发传染病、重要人兽共患病等领域开展攻关，实现研发创新、产业孵化、检测认证等五大功能。

大会同步举办一流教学动物医院支撑兽医学科高质量发展论坛，邀请国内主要农业高校动物医学院、教学动物医院负责人，围绕教学动物医院在兽医学科建设中的功能定位、临床实践教学改革、高层次兽医人才培养、科研平台支撑、科技成果转化等核心议题开展圆桌对话，共探我国兽医临床教育改革与学科建设的实施路径。

生殖助孕妊娠风险评估AI智能体上线

本报讯（记者王昊昊 通讯员洪雷）记者日前从中信湘雅生殖与遗传专科医院（以下简称中信湘雅）获悉，该院自主研发的全国生殖领域首个基于五层国产化全栈架构的助孕妊娠风险评估人工智能（AI）智能体，已正式完成院内电子病历系统上线。

传统模式下，医生需整合跨时段、多系统病历资料，评估耗时3至15分钟，受个人经验、记忆等因素影响，高危因素容易遗漏。而AI智能体能整合跨系统、跨时间的全部病史数据，将那些藏在“信息缝隙”里的高危因素逐一“打捞”出来。

该系统以五色分级标识风险等级，可自动动态捕捉患者病历变化。中信湘雅生殖中心副主任唐奕说：“辅助生殖临床中我们遇到过这样的案例，患者血糖未控制，AI识别出了人工评估漏掉的红色高危风险并及时预警，我们根据提示调整诊疗方案，及时完成风险干预。AI就像‘风险哨兵’，能捕捉易被忽略的隐患。”

该院医务部副主任冯艳霞介绍，智能体核心任务是提前识别隐患，规避因评估疏漏带来的不良事件。系统上线之后，院内妊娠高危病例每周上报数量由上线前不足100例提升至近200例，漏报显著减少。

目前，该智能体已完成6037份历史病例回顾性验证。验证结果显示，助孕风险评估准确率98.5%（对照人工评估73.4%），妊娠风险评估准确率98.3%（对照人工评估83.5%）。

2027年度中国汽车十大技术趋势发布

本报讯（记者高雅丽）近日，第三十三届中国汽车工程学会年会暨展览会（SAECCE 2026）在江苏苏州举办，中国汽车工程学会在会上发布了《2027年度中国汽车十大技术趋势》。

十大趋势分别是：单体能量密度400瓦时/千克级的固态电池进入中试阶段；高安全等级RISC-V（开源指令集架构）汽车MCU（微控制器）迎来量产元年；融合型整车运动控制技术应用将加速普及；V2G（车网互动）日均可提供反向灵活调节能力达百万级千瓦；镁合金一体化成形车身大铸件将实现小规模应用；高级别自动驾驶卡车编队迈入千辆级示范运营；分布式轮毂驱动工程化验证全面提速；主流量产车型座舱端侧模型部署参数突破14B；网联辅助驾驶从示范验证走向小批量前装；金属3D打印技术将在材料、设计、效率等方面协同突破。

据介绍，2027年度中国汽车十大技术趋势重点聚焦三个维度：在2027年在性能和成本方面有望实现重大突破的技术、在2027年有可能实现搭载即将量产的技术、在应用规模上会实现显著提升的技术。

中国汽车工程研究院股份有限公司发布了2026年度“揭榜挂帅”项目，围绕动力电池、智能驾驶、智能座舱、车规级芯片、人工智能等重点方向，共发布12个兼具前瞻性和挑战性的攻关项目，发榜金额达1200万元。

按图索技

“现产现用”的双氧水让公园湖水变清

本报讯（记者刁雯董）近日，清华大学深圳国际研究生院长聘副教授张正华团队研发了仿生弱吸附阳极界面，有效减少了过氧化氢（双氧水）阳极吸附与分解，同时保障了体系长期电化学稳定性，实现了双氧水的“现产现用”。相关研究成果发表于《化学催化》。

双氧水是重要的绿色氧化剂，在半导体、化工、水处理、环境修复等领域广泛应用，分布式制备需求持续增长。然而，当前工业上主流的蒽醌法工艺复杂、能耗高、依赖集中式生产，存在储运成本高、无法现产现用等短板。

基于两电子氧还原反应的电合成技术，也就是用电来“造”双氧水被认为是一条“绿色路径”，其中无膜反应器结构简单、传质高效，应用前景广阔。但该体系长期面临核心瓶颈：阴极生成的双氧水易迁移至阳极被二次氧化分解，形成无效循环，也就是一边刚把双氧水造出来，一边又会将其分解，“边生产边损耗”的问题导致产物净产率大幅降低，制约技术规模化落地。





▲原位电化学合成双氧水的设备。

◀中心公园景观湖的水环境提升效果。 研究团队供图

该成果为无膜电合成双氧水提供了全新的阳极设计思路与工程化方案，有效突破产率瓶颈，助力绿色、分布式、现产现用的双氧水制备技术工业化推广。此外，研究团队还进一步构建了双氧水原位制备的一体化设备，以深圳的中心公园景观湖为对象，开展了城市景观水体原位治理工程验证，显著改善了公园景观湖的生态和水质。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1016/j.checat.2026.101894

合成生物领域科学智能体“东壁·智合”发布

本报讯 近日，东壁科技数据有限责任公司（以下简称东壁科技数据）在安徽省黄山市发布了面向合成生物领域的科学智能体平台“东壁·智合”，将为企业、科研机构和高校的团队提供人工智能（AI）知识检索、数据分析、专业计算与方案设计支持，推动AI更好地融入生物制造研发。

据东壁科技数据负责人介绍，“东壁·智合”已经整合了300多万条高质量科技文献数据、200多种科研工具和50多个生物数据库，能够支持合成生物研发中的序列比对与注释、蛋白结构预测与功能分析、代谢通路重建与通量分析等，覆盖从候选基因挖掘到路径优化的关键环节，为科研人员开展系统性研发提供一体化支撑。

在酶工程首批试点中，“东壁·智合”根据企业用户需求，从高质量科技文献语料中提取300余条酶序列记录和50余条突变线索，通过智能计算分析确定候选天然酶和突变方案，返回用户开展湿实验验证。相关验证结果显示，20%的候选天然酶达到预设性能目标，28.6%的候选突变转化率显著高于对照组，转化率平均提高43%，初步验证了“东壁·智合”在AI驱动生物制造研发方面的可行性与应用潜力。（雨田）

大湾区脑机接口标准体系建设及应用验证项目启动

本报讯（记者朱汉斌）日前，粤港澳大湾区脑机接口产业创新大会在广东深圳召开。会上，广东省标准化研究院联合中国电子技术标准化研究院、香港中文大学（深圳）、香港理工大学、澳门大学、力之智能科技（广州）有限公司等共同启动粤港澳大湾区脑机接口标准体系建设及应用验证项目。

粤港澳大湾区脑机接口标准体系建设及应用验证项目首批共15家单位，主要包括大湾区脑机接口产业相关高校、科研院所、龙头企业以及标准和知识产权服务机构等。

据悉，该项目将聚焦脑机接口术语、参考架构、接口协议等重点方向，编制并实施粤港澳大湾区脑机接口标准体系规划和路线图，联合开展脑机接口关键标准研制，构建覆盖“基础共性—关键技术—产品系统—临床应用—安全伦理”全链条的脑机接口标准体系。同时，项目聚焦高通量柔性电极、神经信号采集芯片、神经调控器件等“卡脖子”环节，联合开展产业关键核心技术攻关，提升产业核心竞争力。

此外，该项目将引导成员单位强化国际标准与专利布局及合规发展，常态化开展脑机接口领域标准必要专利（SEP）培育、挖掘、评估与应用，构建“专利支撑、标准引领、规则落地”的创新生态。

AI是工具，如何驾驭它？

■本报记者 沈春蕾

当前，人工智能（AI）与自动化技术的深度融合，正在重塑工业设计、智能制造、系统运行等生产方式。然而，新技术也是一把“双刃剑”，既能推动社会进步，也暗藏潜在风险。

10月31日，中国自动化学会主办的2026中国自动化大会（CAC 2026）在北京召开，来自海内外的学术界、产业界代表在会上围绕自动化与智能科技等前沿技术展开探讨，并达成共识：人类只有学会驾驭新技术，才能让其安全、负责任地服务社会。

一把“双刃剑”

从机械时代的自动装置到电气时代的单机自动化，从信息时代的系统自动化到智能时代的自主智能化，自动化作为多学科交叉融合的基础性、支撑性学科，正与大模型、具身智能、工业软件、自主无人系统等前沿方向深度融合。

“新的技术系统为社会发展提供了新的可能，比如让基础设施更加安全、让产业更加高效、让社区更具韧性。”世界工程组织联合会主席陈成川指出，“更强大的技术能力意味着需要承担更大的责任。我们不仅要关注这项技术能做什么，还要确保技术能够安全地服务社会，并且可持续地服务大众。”

陈成川认为，AI时代，工程师扮演着核心的角色。他们不仅是AI的使用者，也在用AI进行设计、开发、整合，将不同的技术融入一套系统中，使AI成为人们的好帮手。

中国科学院自动化研究所研究员侯增广告诉《中国科学报》，中国是全世界具身智能技术发展最活跃的力量之一，这里既有人才也有资金。不过他指出，国内的具身智能技术应有序发展，不要片面追求数量，产业也不要盲目跟风、追热度，而应该真正解决生产和生活中的实际问题，否则会造成内耗和资源浪费。

学会驾驭AI

谈及有学生借助AI查资料、写论文，侯增广说：“AI既能帮我们解决一些学习、工作难题，也会让一些同学在使用过程中丢失独立思考的能力。”

在他看来，学生必须有自我约束能力，否则容易对AI形成依赖，降低自己解决问题的能力。“AI是帮助人的技术工具，不同时代有不同的工具，关键在于人如何驾驭它。”

为培养青少年驾驭AI的能力，中国自动化学会发起的全国青少年劳动技能与智能设计大赛以劳动教育与智能设计为主线，提高学生的动手能力和用知识解决实际问题的能力。侯增广介绍：“选手们在参赛中要用知识解决具体问题，这个过程也提升了自身能力。”

马来西亚拉曼大学校长尤芳达认同AI是很好的辅助工具。“在AI时代，学校更强调学生在善用工具的同时，锻炼并提升自身独立思考的能力，学会驾驭AI。”他告诉《中国科学报》，“我们不会‘一刀切’地禁止学生使用AI，毕竟AI已经十分普及，活用AI本身就是一项必备技能，关键是要在使用AI的同时，夯实自身能力。”

尤芳达列举了拉曼大学的两个做法：“第一，我们会使用检测软件，筛查作业里的AI生成痕迹；第二，我们调整考核方式，学生提交作业之后，还要进行现场答辩。我们借助这些方式促使学生真正吃透知识，把AI当成学习辅助工具，而不是直接代替自己思考。”

侯增广希望学生们多读书，尤其是经典的教材。他说：“虽然新技术增强了学生获取知识、投入应用的能力，但各学科的经典知识仍然是学科发展的重要支柱，是压舱石，新技术、新发现也都是在此基础上产生的。”

推动国际合作

“了解并掌握技术是一回事，拥有技能和判断力来负责任地应用技术，是另一回事。”陈成川指出，AI治理必须成为工程实践的一部分。没有任何一个机构可以独自面对AI治理的挑战，这需要全球合作伙伴达成更多的协议和共识，并采取具体行动。

为推动国际合作从单点交流走向机制化伙伴关系，10月31日，中国自动化学会与亚太工程组织联合会、东盟工程与技术科学院和拉曼大学签署四方谅解备忘录，共建面向东盟的国际人工智能应用合作中心，并与巴西自动化学会、缅甸工程师学会联合会分别签署合作备忘录。

尤芳达介绍，拉曼大学由华人社群创办，学校就业率超97%，居马来西亚高校前二。过去3年，华为公司从该校招聘了200多名毕业生，输送到全球各地的岗位。学校也是阿里巴巴在中国境外合作多年的大学，已经把电商课程纳入培养体系，每年为阿里巴巴培养2000多名持有阿里电商资质认证的学生。学校还与吉利集团合作在校内共建了一所芯位学院，培养AI人才，去年有600多名中国交换生前来，和本科生一起上课。

缅甸工程师学会联合会人工智能技术分会联合主席温廷温（Win Htein Win）指出，虽然东盟国家拥有不同水平的基础设施，数字化成熟度、工程专业知识，以及各自机构的情况也不相同，但大家应该探索如何利用AI帮助每一个国家发挥自身的优势，并打破特定的限制达成合作，将人力和机构能力结合起来，从而产生更加持久的效应。

侯增广期望有更多年轻人加入自动化与智能科技等前沿技术领域，不只是用技术解决今天的问题，更要着眼未来、关注即将发生的事情，促进中国与合作伙伴在AI等新技术领域的合作与应用。