

全球首座第四代核电站正式投产转入商业运行

校企合作推动创新果实“瓜熟蒂落”

◎本报记者 都 芃

12月6日，山东荣成石岛湾，我国具有完全自主知识产权的全球首座第四代核电站——华能石岛湾高温气冷堆核电站示范工程在稳定电功率水平上正式投产，转入商业运行，标志着我国在高温气冷堆核电技术领域已处于全球领先地位。

2003年开始，围绕高温气冷堆示范工程，中国华能集团有限公司（以下简称“中国华能”）、清华大学、中国核工业集团有限公司（以下简称“中核集团”）等携手合作、自主创新，打造出一批我国自主研发设计、自主生产制造的先进核电技术装备。

从实验室走向生产线

高温气冷堆的多个关键技术设备诞生于清华大学实验室，在从实验室走向生产线的过程中，中核集团与清华大学瞄准生产线操作重复性、智能化、自动化等特点，开展了大量适应性创新。

“球形燃料元件是石岛湾高温气冷堆的重要创新。在球形燃料元件纯化设备中，原来在学校中的燃料元件空间布局是由人工进行排列，到了工厂后则采用机器人定点操作布局，大大提高了速度和精度，减少了人为影响。”清华大学核能与新能源技术研究院（以下简称“核研院”）党委书记唐亚平说。

主氨风机是高温气冷堆的关键设

备，其作用相当于传统压水堆机组主泵，是高温气冷堆的“心脏”。“整个主氨风机中最关键也最棘手的难题，就是将电磁轴承技术用于主氨风机。”核研院主氨风机项目负责人王宏介绍，电磁轴承优势多，但将其应用于回路的主氨风机，在世界上没有先例，应用风险高，研发难度大。

清华大学在电磁轴承设计、控制及传感器研制等方面具有领先水平。“这也是主氨风机采用电磁轴承技术路线的底气。”但王宏同时表示，技术先进并不代表能直接落地应用，在主氨风机工程样机研制初期，国产电磁轴承的产品成熟度及制造工艺等方面都较为欠缺，“比如电磁轴承定、转子各部件的间隙控制，就涉及多个垫片的现场试装与垫片厚度配磨。”

为了不影响整体工程进度，开发团队采用“国内技术—国外产品互相迭代”的研发思路，首先以自主研发的国产电磁轴承为基础，研制主氨风机工程样机，验证其设计可靠性；随后，利用国外成熟电磁轴承产品，生产用于示范工程的主氨风机产品。与此同时，国产电磁轴承也借助技术反馈，不断提升产品成熟度，达到后续工程技术要求，成功从实验室走向应用一线，最终实现整个主氨风机关键部件国产化。

练就装配“绣花”功夫

作为自主创新的世界首座示范工程，石岛湾高温气冷堆多合设备同样为

世界首创，设计新颖、精度要求高，对设备装配提出极高要求，装配团队为此练就出一身“绣花”功夫。

石岛湾高温气冷堆蒸汽发生器是世界首台直流逆流螺旋盘管式蒸汽发生器，也是目前世界上换热功率最大、蒸汽出口温度最高的蒸汽发生器，诸多设计为世界首创，给装配带来挑战。

“以出口接管设计为例，每合蒸发器有上千支形状各异的接管，直径小、长度大，每支管平均要拐七八个弯。”中核能源科技有限公司（以下简称“中核能源”）主设备研究中心主任汪垠告诉科技日报记者，每支接管的弯如何拐、装配顺序如何排、上千支接管如何在狭小空间内紧密排列并满足各项设计要求，这些问题牵一发而动全身，都需要全局考虑，且没有任何经验可供参考。

为了攻克装配难题，中核能源充分发挥纽带作用，推动技术研发单位清华大学与生产厂家哈尔滨电气集团有限公司开展联合攻关，先后设计出3种布管方案，并制作出3套实体模型，顺利完成管路走向设计，并确定上千支接管的装配工艺顺序，推动设备成功应用。

严苛调试为机组“排雷”

由于核技术的特殊性，核电站的调试工作有着近乎苛刻的要求，设备从制造下线到最终调试完成、投入运行，中间埋藏着许多意想不到的“雷点”，业内

也将调试工作形象地称为机组安全“排雷”。

隔膜压缩机是示范工程氨气循环系统中的核心设备，调试难度大。为了确保设备在各种工况下都能可靠运行，试验负责人、华能石岛湾调试管理办公室员工杨文明想了多种办法恶化运行工况，用最严苛的条件顶格验证设备性能。他排列组合出所有可能工况进行分类验证，用一份详尽的验证数据，为设备性能优化提供了有力支撑，为后续系统试验和反应堆冷态试验顺利推进打下基础。

华能石岛湾核电公司总经理张延旭介绍，在示范工程调试运行过程中，中国华能和清华大学共同研发并掌握了高温气冷堆特有的调试运行六大关键核心技术，为机组后续稳定运行和研发工作奠定了坚实基础。

多方共同成立“主设备支持中心”、关键技术及设备“联合总体室”，联合举办核工程硕士班，建立“师徒制”……得益于一系列校企合作创新机制，石岛湾高温气冷堆突破一大批“从0到1”的关键核心技术，解决多项“卡脖子”难题，一批关键设备出校园、下产线，进市场，从图纸“样品”变成了现实“产品”。

日前，石岛湾高温气冷堆核电站首台（套）设备达2200多台（套），创新型设备有600余台（套），设备国产化率达到93.4%，推动我国在先进核能技术研发和核心装备制造领域自主创新实力不断增强。

盖浙江省内所有11个设区市，省外单位也主动参与，单位数量远超国内外同类赛事。

尤为关键的是，杭州亚运会碳中和工作开展过程中，以全民参与为重点，促进低碳理念深入人心，以运动员、赞助企业、公众、工作人员等为重点，构建亚运碳中和委员会，主动协办城市示范、各地各单位联动的全民绿色行动体系，吸引2亿人次参与。比如“我为亚运种棵树”活动，促成1800余人次参与、植树4800余万株，建设亚运碳中和林26片。

毛根洪表示，杭州亚运委将联合各地各部门，进一步做好经验提炼和成果推广应用工作，为大型赛事绿色低碳办赛提供更多“杭州经验”。

等场景中，植物工厂也有望发挥重要作用。

植物工厂何时能应用于日常生活中？王森说，植物工厂生产蔬菜成本较自然环境种植蔬菜成本高出许多，所以仍需待相关技术成本进一步降低后，其才可能得到推广应用。

此外，谈到垂直式植物工厂采用无人化生产的原因，王森表示，主要是出于安全性和人力成本考虑。“人工种植操作最多只能上至5层，再往上就会有安全风险。另外随着智能化工厂的发展，我们也更倾向于使用机械代替人力，从而实现更高生产效率、更低运营成本。”他说。

王森透露，团队当前正开展垂直农业大楼相关研发，下一步将构建集种植和养殖于一体的农业大楼，在垂直空间内同步实现蔬菜种植、水产养殖、食用菌培育等，探索屋顶农业、阳台农业新模式。“目前，垂直农业大楼在四川天府新区已初步建成，预计1—2月后即可全部投入运行。”他说。

正式落地如皋沪苏科创产业园。这是如皋与上海交通大学共建如皋（上海）科技创新平台以来，成功落地孵化的第3个产业项目。

以“科创+产业”为引领，聚焦传统产业焕新、新兴产业壮大、未来产业培育，南通与上海共建科创飞地。目前，两地已合作设立5个飞地孵化器，正在孵化项目88个，已累计转化落户南通项目21个。

南通市科技局局长赵勇男介绍，南通把推动发展作为开展主题教育的着力点和落脚点，不断扩大协同创新“朋友圈”，推进跨区域协同创新，攻克了一批关键核心技术。

近年来，南通紧盯上海、苏南等“家门口”优势产业、创新资源，探索“基地+拓展区”“总部+协同中心”“飞地孵化”“离岸创新”等模式，构建“上海苏南孵化、南通转化”“上海苏南研发、南通制造”链条，让更多科创企业、创新资源与南通“双向奔赴”。在今年新签的1602项产学研合作项目中，与长三角地区高校院所合作项目占比超65%。

科创飞地与长三角共融共舞

上海壹冠智能科技有限公司是一家车辆底盘及零部件供应商，今年8月

杭州亚（残）运会在亚运史上首次实现碳中和

科技日报杭州12月6日电（洪恒飞 记者江毅）6日，杭州亚组委、亚残组委（以下简称“杭州亚组委”）召开专题新闻发布会。经第三方权威机构核算和评价认证，杭州亚运会和亚残运会共排放温室气体88.29万吨，使用绿电减排温室气体2.20万吨，接受社会捐赠碳抵消指标109.99万吨，在亚运会、亚残运会历史上首次实现碳中和。

中环联合（北京）认证中心有限公司作为杭州亚运会碳中和评价单位，向杭州亚组委颁发《碳中和证书》。杭州

亚组委副秘书长、办公室主任、杭州市政府副秘书长毛根洪介绍，杭州亚运会碳中和和工作严格按照生态环境部《大型活动碳中和实施指南（试行）》等规定开展，实现了开闭幕式首次使用“数字烟花”代替“实物烟花”，在亚运会历史上首次达成全部场馆绿电供应等10个“首次”。

据介绍，在赛事运营方面，场馆临时设施和赛事器材优先采用租用、借用形式或使用可循环利用材料；亚运村房间的漱口杯、衣架采用可降解的麦秸秆

材质；亚运村累计回收纸质餐盒和牛奶盒57吨，其他低价值废弃物92吨，可制成原生纸89.34吨，部分已制成纸扇作为低碳活动纪念品；亚运会工作人员和志愿者服装材质采用可再生材料。

此外，杭州亚组委在最大限度减少碳排放的基础上，发动各地各单位捐赠碳配额、碳信用、碳普惠等抵消亚运会产生的碳排放量。47家单位捐赠碳抵消指标109.99万吨（其中碳配额6.05万吨、CCER1.48万吨、国际核证碳信用86.10万吨、浙江碳普惠16.36万吨），覆

20层“高楼”变身“立体菜园”

——走进全球首座无人化垂直植物工厂

◎刘侠 陈科
实习记者 李诏宇

近日，全球首座超高层无人化垂直植物工厂在四川成都投入使用。该植物工厂由中国农业科学院都市农业研究所自主研发，高接近10米，栽培层数达20层，为全球最高，可通过采用垂直立体栽培系统、营养液自动供给系统等，实现在垂直空间内的稳定生产。

植物工厂如何实现作物快速繁育？为何采用无人化生产？12月6日，带着这些问题，科技日报记者采访了相关专家。

中国农业科学院都市农业研究

所研究员王森告诉记者，目前植物工厂内栽培品种主要为叶类菜，且以生菜为主。“这类品种在工厂内环境可控条件下生长周期为35天，与自然环境中的生长周期相比，提升了50%的生长速度，年产量预计可达50吨。”他说。

过去，由于作物育种周期较长，为缩短研发时间，科研人员在冬季往往都要前往海南等热带区域加快选育进度。而植物工厂则能够打破土地、空间和气候条件的约束，实现作物快速繁育。

中国农业科学院都市农业研究所智能园艺装备创新团队首席科学家杨其长表示，在植物工厂内，作物的生育期由原来的120天缩短到50—60天，育

种效率大幅度提升。

在植物工厂，如何实现作物的快速生长？“其中的关键是‘光—温—营养’耦合调控作物快速繁育技术。”中国农业科学院都市农业研究所科研助理李宗耕介绍，该项技术突破了作物生长过程中环境和营养的影响因素，通过调控作物生长时的光照、温度、营养等要素，在作物的苗期、生长期、开花期等不同阶段，都能够为其提供最佳的生长环境和养分供应。

王森认为，植物工厂未来应用场景十分丰富。“在人口密集的城市，通过植物工厂就能保障城市的日常蔬菜供应，如遇城市交通封闭等特殊情况下也能保证蔬菜供应自给自足。”他说，此外在边防哨所、远航科考、岛礁生存

江苏南通：跨江协同夯实产业科技创新底座

(上接第一版)

过去，南通船舶企业创新实力不强，抗风险能力弱，极易受国际经济危机影响。结合主题教育，南通市科技局瞄准产业创新协同难题，开展大走访大调研，政产学研合力“解题”，与长三角创新资源密集地区共同推进跨区域产业协作、创新融通、园区共建。目前已建成省船舶与海洋工程装备技术创新中心等创新平台，引进招商局重工等创新型企业，推动产业向高端迈进。

面对船舶海工产业数字化、绿色化、智能化发展趋势，集聚全国约1/10船舶和1/4海工装备制造能力的南通市，正依靠科技创新由“造壳”迈向“造心”。

纺织纤维产业升级 增添“加速器”

9月16日，江苏集萃先进纤维材料研究所（以下简称“集萃纤维”）与4家企业签订协议，启动长三角国家技术创

新中心“众筹科研”项目，共同开发再生复合多功能纤维材料。新材料覆盖产业链上下游多个环节，放在过去，单靠一家企业很难完成开发。

100多年前，实业家张謇在南通创办大生纱厂，开启了近代工业篇章。如今，从一根丝、一匹布到一件成品，纺织产业在南通高度集聚，1463家企业、近70万从业人员，凝聚成打不散、搬不走的支柱产业。

在新一轮科技革命和产业变革背景下，纺织这样的传统产业何去何从？带着问题，南通再次将目光投向一江之隔的上海。

2021年，中国科学院院士朱美芳带着技术来到南通，领衔创办集萃纤维，助推产业升级。

“南通家纺占了全国半壁江山，但家纺行业对新技术的接纳度以及产品利润率都有待提升。”集萃纤维副所长周家良说，该所致力于通过成果转化

企业赋能。目前已与10家本地企业建立合作关系。

南通市委组织部副部长陈鹏军介绍，开展主题教育以来，南通市积极参与长三角一体化发展战略，紧扣一体化和高质量关键词，全面落实“四个走在前”“四个新”重大任务，与上海在创新平台建设、高端人才集聚、产创深度融合等方面深化合作，积极探索创新资源共用、载体共建、利益共享等机制，签署了沪通新一轮科技创新全面战略合作协议。

近5年，两地产学研合作项目数超1000项。目前，南通70%的规上工业企业与上海80%的高校院所开展了创新协作。

科创飞地与长三角共融共舞

上海壹冠智能科技有限公司是一家车辆底盘及零部件供应商，今年8月

5G升级进行时

◎本报记者 王 怡

“未来可以利用交互界面，让每个人都能够深入了解自身身体，实现全因素、全场景、全过程的‘中国人体质全景图’。”12月6日下午，在2023世界5G大会上“5G与未来中医药发展战略论坛”上，中国工程院院士、国医大师王琦这样期待。

此次在河南省郑州市召开的论坛，以“新一代信息技术推动中医药现代化产业化及走向国际”为主题，邀请众多中医药领域专家、学者以及相关人士参加，就现代信息技术助力中医药发展、中医药跨界融合创新路径探索、5G助力中医药走向国际等话题进行了交流。

当下，大众对于“治未病”“未病先防”等观念的认知有所提升，中医药在疾病预防、康复治疗和保健等领域展现出了特色和优势。而现代信息技术手段，将助力中医文化传播及创新。

“构建‘中国人体质全景图’可以帮助大众了解自己的体质，并知道自己容易得哪些疾病。根据这些病可能带来的问题，进行自我调节和健康管理。”王琦介绍，研究人员进行了大量流行病学调查和组学科学研究，将中国人体质分为9类，即平和体质、气虚体质、阳虚体质、阴虚体质、痰湿体质、湿热体质、血瘀体质、气郁体质、特禀体质，并将这些体质可能对应的疾病进行了分类。

王琦解释说，体质是人类在生长发育中所形成的与自然、社会环境相适应的人体个性特征。其表现为结构、功能、代谢以及对外界刺激反应等方面的个体差异性，对某些病因和疾病的易感性，以及疾病转变归中的某种倾向性。遗传因素的多样性和后天因素的复杂性，也会影响个体体质差异性。此外，研究人员还发现，同样的社会生活背景、同一地区、同样饮食习惯和生活方式的人群，表现出体质的群体趋同。

“我们运用生物工程方法，通过5150例人脸可见光和近红外图像信息技术发现9类体质的面部特征。例如，湿热体质面垢如油，全脸油脂分泌多，在红外图像中是高亮区，以三角区最为明显，易生痤疮，面部有痘或痘印。”王琦举例说。

记者了解到，2009年4月《中医体质分类与判定》标准入选中华中医药学会行业标准，此后得到广泛应用。体质辨识法被全国二级以上中医院的235家“治未病”协作组、1000多所高校及医院采用。

“目前，我们还在研究利用移动互联、大数据技术和人工智能等现代科技，让中医药、中医体质学走进更多寻常百姓家，帮助更多人掌握这种‘自主自助式’健康管理体系。”王琦进一步阐释，如“中国人体质全景图”，就是基于中医体质理论，数字化9类体质的特征，利用智能算法实现对个体体质的精准解读，能为个性化健康管理提供指导。该人工智能模型能利用多特征融合分析与隐含关系挖掘技术，创建以9类体质为指导的多特征融合模式，深入分析不同体质之间的隐含关系。

除此之外，随着大数据、人工智能、互联网等信息技术的发展，中医药诊疗服务模式也正在借助现代科技手段获得新的“智慧”。

对此，中国中医药科技发展中心主任胡镜清认为：“新技术应用对中医诊疗模式是一种补充完善。传统中医诊疗由医者凭主观记忆和经验判断决策，而现代化中医诊疗技术则是通过分析中医药技术装备数据实现精准诊断。比如，我们构建的远程医疗、针灸智能、睡眠管理等系统，目前都已经应用。”

(科技日报郑州12月6日电)

捷龙三号火箭首次执行应用发射任务

科技日报北京12月6日电（李艳明 记者付毅飞）12月6日3时24分，捷龙三号运载火箭在广东阳江附近海域点火升空，成功将卫星互联网技术试验卫星送入预定轨道。记者从中国航天科技集团一院获悉，这是捷龙三号首飞成功后首次执行应用发射任务，标志着改型火箭开启了应用发射的序幕。

捷龙三号运载火箭由一院抓总研制、中国长征火箭有限公司投资。据悉，本次是我国首次执行海上远距离机动发射任务，发射船从山东烟台东方航天港出发，历时5天半，行程1300

多海里。一院捷龙三号总指挥金鑫表示，该火箭具备在4级海况下运输的能力，环境适应性强。本次发射验证了该火箭海上远距离机动发射能力，提高了火箭任务适应性。

一院捷龙三号总设计师管洪仁介绍，该火箭首飞成功后，研制团队开展了箭体去任务化设计、星箭接口快速集成设计、发射流程优化。目前该火箭已具备箭体批量总装条件，大大缩短了任务响应时间，履约周期进一步压缩，可适应商业卫星发射任务复杂多变的特点，满足未来高频次发射需求。2024年，捷龙三号火箭计划执行5次以上发射任务。



小蘑菇撑起“致富伞”

科技日报讯（记者宋迎迎 通讯员王培珂）近年来，山东青岛西海岸新区大村镇深耕“龙头企业+合作社+农户”发展模式，促进食用菌产业发展，一朵朵小蘑菇为群众撑起“致富伞”。

图为12月4日，农民在大村镇食用菌楼宇工厂化基地搬运食用菌。王培珂摄

(上接第一版)

李丕征建议，加速推进5G向感知一体、无源物联、确定性网络等新技术演进，推进5G与人工智能(AI)、算力、新一代信息技术融合创新发展。同时，加强行业融合深度，通过5G标准化驱动规模化，持续推进5G跨行业协同融合，全面提升5G的规模化进程。

“要推动5G应用走深向实，还存在高确定性网络能力不足的问题。”中兴通讯股份有限公司董事长李自学同样提到，5G要深入生产的核心环节，需要满足对时延、抖动、可靠性的要

求，目前网络的性能还不能完全满足行业的需求。

郭贺铨表示，基于生成式大模型开发的行业模型以及5G-A技术，有望提升5G网络能力，进一步激发行业对5G的需求。

“5G-A预计在2025年进入商用，它在峰值、连接密度、定位精度以及比特能效方面比现有5G提升10倍，可以承载更多的工业应用，同时通过新的结构布局，实现轻量化、降低成本。”郭贺铨说。

(科技日报郑州12月6日电)