

超临界二氧化碳发电技术实现商业应用

“黑科技”让工业余热变身“绿色电能”

近期,被称为“超碳一号”的全球首套2×15兆瓦超临界二氧化碳燃烧余热发电工程,在贵州六盘水成功实现商业运行。这套看似和传统烧余热发电设备差别不大的装置,藏着热转换领域的“黑科技”——用超临界二氧化碳替代水蒸气发电,标志着我国率先打通这项前沿技术从实验室到商业应用的“最后一公里”,开启了热转换的全新阶段。

在首钢水城钢铁(集团)有限责任公司厂区,“超碳一号”运行时干净整洁。正是这套设备,让钢铁生产中原本利用率不高的余热,变成了源源不断的“绿色电能”。

发电更加节能

不管是传统火电、核电,还是常见的余热发电,长期以来都依赖“烧开水”的逻辑——把水加热成蒸汽,靠蒸汽推动汽轮机发电。而“超碳一号”的核心突破,就是把能量转换的媒介物质从水蒸气换成了超临界状态的二氧化碳。

什么是“超临界二氧化碳”?简单说,就是给二氧化碳施加特定的温度和压力,让它变成一种特殊状态:既有气体的流动性,又有液体的高密度。当温度超过31摄氏度、压强达到7.38兆帕(大概是标准大气压的73倍)时,二氧化碳就会进入这种状态。

在“超碳一号”设计团队看来,这种特殊状态的二氧化碳,是发电的“好帮手”。一方面,它密度大,能储存更多能量,做功能力更强;另一方面,它流动阻力小,加热后可以直接膨胀推动发电,不用像水那样经历气液态之间的相变过程,不仅流程更简单,响应速度也更快。

这一改变带来了一连串优势:首先,它既不消



耗水资源,也不会产生废水。这对缺水地区和高耗水的钢铁企业来说,无疑是重大利好。其次,设备更紧凑,“超碳一号”的占地面积比同等功率的蒸汽发电系统大幅度减少。最后,它对热源的要求也不高,钢铁生产中350摄氏度到600摄氏度的余热,就能满足它的运行需求,而这些余热在传统发电技术中利用效率较低。

首钢水城钢铁设备工程部副部长孟玮给出了一组直观数据:和当前主流的烧余热蒸汽发电技术相比,根据应用场景不同,“超碳一号”的净发电效率可提高20%至50%。这意味着,过去利用效率不高的工业余热,现在能更高效地转化为电能。

首次商业运行

超临界二氧化碳发电技术的优势早被业界认可,被誉为热电转换领域的革新性技术。美国在2015年就将其列为国家能源领域战略性前沿技术,我国也在《“十四五”能源领域科技创新规划》中将其列为重点推进的前沿能源技术。

但从理论上的推演,到实验室的小范围测试,再到工业场景的大规模商业应用,中间横亘着无数难题。对企业来说,采用全新的未成熟技术,意味着要承担不小的风险,很多企业都不敢轻易尝试。

中国核动力研究设计院的团队从2009年就开始钻研这项技术。在中核集团首席科学家、“超碳一号”总设计师黄彦平的带领下,团队用7年时间完成了基础理论研究和试验平台搭建,2016年进入实验室测试,2019年实现小规模发电验证。就在技术需要“落地”的关键节点,首钢水城钢铁也迎来了设备更新换代的契机。

“我们不算短期风险账,只看长远发展账。”孟玮回忆起当时的决策,“‘超碳一号’能把中低温余热‘吃干榨净’,不管是节能减排还是降本增效,都能带来颠覆性变化,这个险值得冒!”最终,首钢水城钢铁集团决定联合中核集团中国核动力研究设计院、济钢集团国际工程技术有限公司,共同推进这个全球首套项目。

2023年底,“超碳一号”正式动工。2025年11

月,“超碳一号”并网发电调试成功,一个月后顺利实现商业运行,我国就此成为全球首个将这项技术商业化的国家。

带来多重利好

“超碳一号”的商业运行,给我国能源利用、产业升级和民生改善带来了多重利好。

从企业效益的角度看,它能让工业余热“变废为宝”,大幅提升企业盈利能力。孟玮算了一笔账:相比首钢水城原来的老旧机组,“超碳一号”每年能多发电7000余万千瓦时。对钢铁、水泥等高能耗产业来说,这项技术就像“能量回收器”,能把原本浪费的热量转化为经济效益,助力传统产业降本增效、绿色转型。

从生态环保的角度看,它是实现“双碳”目标的重要助力。黄彦平测算,要是把这项技术推广到全国的烧余热改造项目,每年能节约标准煤约483万吨,减少二氧化碳排放1285万吨。更重要的是,它水耗较低,在我国西北、华北等缺水地区推广,能有效缓解“煤电耗水”与“水资源短缺”的矛盾,能在能源发展与生态保护之间找到平衡点。

从能源安全的角度看,它能丰富我国的能源供给路径。这项技术可与风电、光伏等新能源搭配使用。比如,用风电、光伏的富余电力加热熔盐储存能量,需要时再通过超临界二氧化碳发电系统把热能快速转化为电能,解决新能源“不稳定”的痛点。目前,中核集团已启动“熔盐储能+超临界二氧化碳发电”示范项目,入选国家能源领域首台(套)重大技术装备名单,预计2028年完成示范,未来将进一步提升我国能源供应的稳定性和灵活性。

济钢集团国际工程技术有限公司“超碳一号”项目负责人李军卫表示,超临界二氧化碳发电技术尤其适合中小功率规模、中高温热源场景,在钢铁行业除了烧结外,还可以跟焦化等其他环节结合,也可用于化工、水泥、玻璃等多个传统行业的余热回收发电,大幅提升能源利用效率。

如今,我国已基本建立超临界二氧化碳发电技术的产学研用体系,形成了全国产业化产业链,具备了全面工程应用的条件。这项技术未来还将渗透到多个领域,为我国实现“双碳”目标、保障能源安全注入强劲动力。

据《经济日报》作者:吴秉泽 王新伟

► 科工前沿

机器人将再上春晚

量产及应用引期待

据中央广播电视总台消息,2026年春节联欢晚会“科技+艺术”再度进阶,将“科技智造”深度融合融入舞美呈现、内容创作等环节。继扭秧歌的人形机器人“引爆”蛇年春晚后,今年春晚舞台将再现人形机器人身影。

春晚不仅是中华文化的盛宴,如今更成为我国高端制造、人工智能等领域产品成果展示的舞台。春晚舞台对人形机器人稳定性的要求十分严苛,也对人形机器人的续航、动作精度与稳定性提出了极高标准。

近年来,为支持人形机器人产业的发展,《人形机器人创新发展指导意见》《关于开展智能养老服务机器人结对攻关与场景应用试点工作的通知》等一系列政策陆续发布,使产业发展迎来重要窗口期,应用场景逐步拓展。2025年被业内称为“人形机器人量产元年”,众多机器人企业纷纷发布量产产品,市场关注度更是随着人形机器人在春晚亮相而持续提升。

大连蒂艾斯科技发展股份有限公司(以下简称“EX机器人”)总裁李博阳表示,人形机器人登上2025年春晚舞台,对于行业而言,是一次绝佳的影响力传播契机,这也促使行业内企业加快产品研发与迭代步伐,加速商业模式落地。

李博阳说:“EX机器人已研发多款人形机器人产品,这些产品不仅能应用于商业活动和表演,未来也有望走进我们的家庭,用于看护小孩、陪伴

老人和做家务等。人形机器人从结构到交互方式都高度拟人,融入社会毫无障碍。”

随着政策支持与市场拓展,机器人领域的投融资也愈发活跃。据中国机器人网不完全统计,2025年,中国机器人行业共发生约200起投融资事件,总额估算超400亿元。其中,人形机器人与具身智能领域融资金额最多,超300亿元。不仅如此,资本的“布局策略”也具有鲜明特征,人形机器人初创公司获得种子轮、天使轮及A轮融资的案例频繁上演,资本也乐于加大早期项目布局力度,积极追逐技术源头创新价值。

陕西巨丰投资资讯有限责任公司首席投资顾问张翠霞表示,2025年,具身智能领域和人形机器人概念在二级市场表现强劲,成为机器人领域头部企业上市的关键节点,资本市场高度关注企业的量产进展,尤其是万台级交付目标的达成。

张翠霞说:“工业制造场景成为验证人形机器人商业化能力的关键领域,同时,服务领域如陪伴、导览、教育的精细化操作能力也被视为重要增长点。人形机器人将再度亮相春晚舞台,对于行业而言又将是一次技术成果展示的机会。但这种科技新鲜感也会随着不断曝光而消退,最终投资方要看到的是商业化的落地,以及产品带来的实际应用价值。”

据《证券日报》作者:郭冀川

我国高性能膨胀管材技术实现自主可控

近日,中国钢研科技集团(以下简称“中国钢研”)所属钢铁研究总院有限公司(以下简称“钢研总院”)联合多家合作单位共同研发的80Ksi高性能膨胀管材及应用技术,实现我国油气勘探开发关键材料及应用技术的自主可控,为保障国家能源安全提供了科技支撑。

“在油气勘探开发领域,可膨胀管技术能够大幅降低修井、完井、钻井成本。”中国钢研所属工程用钢研究院副院长贾书君介绍,长期以来,该技术体系中最关键的大膨胀量膨胀管材及应用技术被国外垄断,严重制约了我国油气勘探开发的进程,破解这一“卡脖子”难题迫在眉睫。

2012年起,钢研总院启动大膨胀量膨胀管材研发工作,并率先在实验室突破80Ksi钢级膨胀管材核心技术,成功掌握相关自主知识产权。2020年,为推动技术落地转化,钢研总院牵头组建产学研用联合攻关团队,联合内蒙古包钢钢铁股份有限公司钢管分公司、中国石油集团工程技术有限公司开启全链条系统攻坚,最终成功攻克大膨胀量膨胀管材生产制造及产业化应用中的系列关键技术。目前,团队

已成功开发出12种规格的80Ksi膨胀管材,实现了裸眼封堵、井筒重构等多个核心应用场景的全面覆盖。

“我们研发的高性能膨胀管材,实现了膨胀前高塑性、高韧性与膨胀后高强度,展现出卓越的综合性能,从根本上扭转了我国在该领域对进口产品的依赖。”贾书君说。

据介绍,该产品在应用中表现亮眼:在四川页岩气地区实现膨胀管裸眼封堵;其支撑的膨胀管井筒重构技术,创下国内单井及单段重构长度纪录;在塔里木油田、西南油田等多个油气田,成功解决了井筒修复、漏失治理等诸多行业痛点。

“高性能膨胀管材技术的自主可控,不仅填补了我国大膨胀量膨胀管材研制与应用的行业空白,为油气开发重大工程提供了关键材料保障,更为我国高端钢铁产品的研发与产业化应用提供了可复制、可推广的成功范例。”贾书君表示,这一技术突破有助于持续推动我国石油行业技术升级,更好地保障国家能源安全,为能源经济高质量发展注入强劲动力。

据《科技日报》作者:刘园园

从“适配需求”迈向“引领标准”

架桥“神器”突破行业施工禁区

在中铁科工集团有限公司,其自主研发的1800吨级“越海号”架桥机精准架设663榀箱梁一举创下世界最大吨位整孔预制箱梁架设纪录。这台“大国重器”正是“十四五”期间我国架桥装备向高端化、智能化、绿色化转型的生动注脚。面对复杂地质、恶劣环境、低碳发展等多重考验,国内研发团队持续攻关,一批架桥“神器”突破行业施工禁区,为重大工程注入硬核动能,尽显中国装备制造的创新底气。

技术水平决定工程效率与安全

架桥机作为桥梁建设核心装备,技术水平直接决定工程效率与安全。“十四五”以来,我国架桥装备研发紧扣“交通强国”战略,针对不同场景施工痛点实现多点突破,从“适配需求”迈向“引领标准”。长三角跨江高速项目面临超宽桥面、渐变横坡和大风风险,传统架桥机难以兼顾稳定性与效率。“越海号”架桥机通过结构优化与技术增强抗风载能力,从容应对复杂工况,树立高速公路大吨位架桥机性能新标杆。

针对高铁桥隧衔接痛点,国内首台千吨级“陆吾号”过隧道运架装备实现技术突破。相较于传统架桥机复杂的拆解重装转场周期,该装备通过优化机身结构、创新自动回转系统,无须拆解即可直接穿隧,转场时间压缩至1天,大幅缩短施工周期。

与此同时,“应龙号”架桥机首次将新能源技

术集成于核心系统,在降低能耗的同时提升作业稳定性,成为行业绿色低碳装备的典型。

“十四五”期间,我国重大交通工程遍布山河湖海,复杂环境对架桥装备适配性提出严苛要求。研发团队坚持“一工程一方案”,通过精准研发实现装备与场景深度匹配,在多个国家级项目中发挥关键作用。

珠三角深汕西高速需穿越大面积沼泽地与自然保护区,传统工艺效率低下且易破坏生态,全球首台桩梁一体架桥机“共工号”在此实现突破。该装备全长92米、自重575吨,有效跨度48米,集成引孔、打桩、架梁、拼装桥墩全套功能,无须单独布设设备或修筑施工便道,施工效率较传统工艺提升3倍。3台设备20个月完成342跨作业,其“工厂化预制、模块化拼装”模式推动桥梁建造迈入3.0时代。

中国架桥装备展现强大适配能力

海外“一带一路”项目中,中国架桥装备展现出强大的适配能力。雅万高铁作为中国高铁全产业链海外落地标杆,面临热带海洋性气候、复杂地质等挑战,中铁科工集团有限公司为其定制的900吨级过隧架桥机,优化液压与电气控制系

统适配高温高湿环境,28天完成设计、3个月完成制造调试,架设了全线81.5%的箱梁。

中老铁路建设中,国产架桥机以高效灵活性适配沿线地形起伏大、运输条件有限的特点,成为工程建设主力军。

绿色低碳转型成效显著

“十四五”是制造业转型升级关键期,我国架桥装备行业以技术创新为抓手,持续推进智能化与绿色化升级。数字技术贯穿研发、生产、施工全链条:研发端通过数字孪生技术构建虚拟仿真模型预判施工风险;施工端借助远程监控系统实时调整参数,操作人员在控制室即可完成远程操控与智能调度,大幅提升作业安全性与精准度。珠肇高铁项目中,“应龙号”架桥机搭载智能控制系统,实现远程“一键架梁”与偏差自动纠正,作业效率较传统工艺提升20%。

绿色低碳转型成效显著。除新能源架桥机

外,传统装备节能改造持续推进,雄安新区应用的1000吨级电驱箱梁搬运机,完成液压驱动向电驱动变革,节油率达30%;“共工号”等装备通过一体化作业模式,减少施工便道修筑与线外用地占用,最大限度降低生态扰动。

从“越海号”刷新世界纪录到“共工号”引领建造革命,从雅万高铁海外突破到智能绿色技术广泛应用,“十四五”期间,我国架桥装备制造以持续科技创新实现从“跟跑”到“领跑”的跨越。这些突破不仅为重大交通工程提供关键支撑,更成为新质生产力在制造业落地生根的生动实践。

据《工人日报》作者:张翀