

向地球深部进军

——山东能源集团深部煤炭数智化高效开采成套技术与工程应用引领煤炭工业高质量发展

孙翔 周涌

产品节能减排25%，形成煤炭高效开发利用新模式；在世界上首次完成深部厚煤层智能综采实践，开采效率提升83%、资源回收率提高20%以上，实现资源开发利用领域的重大突破和技术进步……

面对我国深部煤炭安全智能绿色开发要求，山东能源集团联合天地科技股份有限公司、山东科技大学、兖矿能源集团股份有限公司、北京天玛智控科技股份有限公司、青岛中加特电气股份有限公司、山东大学、中煤张家口煤矿机械有限责任公司、北斗天地股份有限公司、煤炭科学技术研究院有限公司等10余家单位，组织科研、设计、制造、生产等全产业链核心人员100余人，历经10余年攻关，创立了深部煤炭资源开发数字化基础、全业务链数字化运行和智能化开采模式。

世界首次实现深部厚煤层智能高效开采

煤炭是我国主体能源和重要工业原料，在当前一次能源生产和消费中占67.4%和56.2%。随着浅部煤炭资源日趋减少，尤其是华东、华北地区浅部煤炭已近枯竭，中西部鄂尔多斯盆地浅部煤炭资源储量也快速下降，以深部厚煤层为主的资源禀赋决定了其安全高效开采在国家能源安全中的重大战略需求。综采一次采全高是深部厚煤层最佳开采方式。受原有开采技术局限，6—10米厚煤层只能采用“分层”或“掏芯”开采，即使采用国外最先进装备，其最大采高也无法突破5.5米，造成25%以上资源浪费，难以支撑深部煤炭高效开采和保供需求，亟待以数字化和智能化为支撑，实现深部煤炭高效开采成套技术的重大创新。

为解决地下开采非结构性受限空间复杂、深部厚煤层综采造成强矿压和围岩失稳无法支护、国内外没有能够可靠运行的深部厚煤层工作面成套装备、国内外没有深部煤炭数智化高效开采成套技术集成工程应用的先例等技术难题，研发团队围绕深部基础理论研究需求，面向世界科技

前沿，创立了深部煤炭开采数字化基础，提出了“分级抽取—关联分析—虚实映射”的多源异构数据处理方法和更新策略，建立基于矿山大模型的人工智能运行平台，开发煤矿智能化十大数智系统，构建了煤矿智能化技术体系，形成煤炭安全高效智能绿色开发新模式。



图为山东能源金鸡滩煤矿世界首套8.2米超大采高智能化综采面。 山东能源集团/供图

据了解，该成套技术获国内外发明专利51件，制定国家标准7项，出版专著5部，发表论文93篇。其中，F5000论文14篇、高PCSI指数论文39篇，21篇论文位列矿业工程前0.1%。

效率效益双丰收 支撑高质量发展

2016年，山东能源集团首次在金鸡滩煤矿进行了8.2米超大采高自适应开采技术的工业性试验，工作面连续稳定运行，日均产煤6.16万吨、月产煤153万吨，创综采高度、产量及效率的世界最高纪录。此后，逐步推广到8—10米超大采高综采。

在金鸡滩煤矿建成首个8.2米超大采高智能化综采面，创造年产1836万吨煤的世界纪录，全员工效达339.2吨/工，比16.78吨/工的全国平均水平显著提高；在

口孜东煤矿首次成功实施千米深井“三软”复杂条件7米超大采高开采；在澳大利亚莫拉本煤矿成功实施顶板、底板和端部参数识别的自适应数智化开采。

面向经济主战场，在世界上首次成功进行8米以上超大采高、千米深井和澳大利亚数智化开采技术集成工程应用，实现了采高由5.5米到8—10米的颠覆性突破，建成全球采深最深、采高最大、效率最高、用人最少的超大采高智能化综采工作面。研发了世界最大采高高压支架及智能制造与可靠性验证系统，有力壮大了煤机装备产业规模，打造了国际一流的高端煤机装备制造企业，技术、产品出口到世界主要采煤国家，支撑充矿能源成功开发运营澳大利亚最大煤矿企业，打开了国际市场，提升了国际竞争力。

针对能源安全保障需要，面向国家重大需求，研发深部煤炭数智化高效开采技术和装备，覆盖国内外煤炭智能开采产量达2.8亿吨/年，有力支撑了先进产能的释

放，满足了我国特别是华东、华北地区能源保供需求，有力保障国家能源安全。同时，面向人民生命健康，攻克了智能化开采关键技术，支撑山东能源建成36处智能化煤矿，其中赵楼煤矿成为我国首个千米深井“国家首批智能化示范建设煤矿”，累计建成327个智能综采工作面，井下人员减少1.12万人，实现了减人、增安、提效。

据了解，该成套技术装备在陕北、两淮、鲁西、黄陇、新疆、神东等多个大型煤炭基地的金鸡滩、口孜东和澳大利亚莫拉本等84个煤矿进行应用，覆盖陕西、山东、安徽、山西、内蒙古、新疆等我国主要煤炭生产区域和海外煤炭基地，支撑山东能源、中煤能源等大型企业实现经济效益的大幅度提升和高质量发展。据初步统计，近三年产生直接经济效益841.5亿元，支撑山东能源集团连续两年名列世界500强前100位。山东能源集团成为全国唯一拥有境内外四地上市平台的大型能源企业，营业规模位居全国煤炭行业首位。

构建煤炭高效开发利用新模式

深部厚煤层开采对支架载荷及冲击

加大，极端情况下动载系数超过2.5，超大采高压支架具有大尺度、高动压敏感结构特点，最大力传递系数达4.5，常规设计方法、结构和检验手段无法保证其适应性和可靠性需求。该项目研发的高端液压支架产品全面推广应用，有效保障了工作面的安全、自适应支护。

据悉，山东能源集团等单位依托深部煤炭数智化高效开采成套技术大幅提升煤炭一次开采效率，有效释放先进产能，提高资源回收率20%以上。据不完全统计，采用本技术近3年减少资源浪费约5600万吨，减少洗选动力消耗和矸石排放，有助“山”节能减排及环境治理；研制了智能变频调速一体机驱动的大功率刮板输送机，节能达25%，近3年减排二氧化碳452.16万吨，产品和技术推广至油气开采、港口船舶海工装备等领域，支撑多行业节能减碳。

深部煤炭数智化高效开采成套技术装备实现大型装备节能减排和产业链延伸，推动了我国煤炭工业高端化、数字化、智能化转型和高质量发展，提高了国家能源安全保障能力，取得了重大经济、社会效益和显著生态环境效益，构建形成煤炭高效开发利用新模式。

图为山东能源集团总部。 山东能源集团/供图

CCER 时隔七年正式重启

上接1版

“此外，新CCER办法还要求公开温室气体自愿减排项目设计文件、登记情况、注销情况、项目审定报告、减排量核查报告等，同时明确要求数据保存期限，要求信息更加透明、公开。”王科表示。

不过，由于一些环节尚未完成，CCER新的减排量还不具备签发条件。从正式启动当天的交易情况看，当前交易的仍是之前主管部门核证的CCER存量。“目前，CCER启动准备工作中的所有政策文件已经公布，整体进程已完成，但第三方机构资质审批尚未完成，相当于目前还没有由国家正式认证的第三方机

构。这导致无法登记项目和减排量，碳减排量无法签发。近日国家认证认可监督管理委员会公布了对CCER项目审定与减排量核查机构资质审批的公告，第三方机构正式拿到资质后，新的CCER减排量将进入市场参与交易。”宋雨彤进一步表示。

制度仍需进一步完善

CCER的再次启动为全国碳市场增添了新活力，但用好这一机制仍非易事。

“CCER的建设运行是一项长期的系统工程，需在政府部门和市场参与主体的积极配合下逐步完善制度，规范交易活动，优化各环节流程，使CCER项目符合

完整性、准确性、透明性、唯一性等原则，确保市场重启后稳定有序。”王科表示，CCER当年因“自愿减排交易量少、个别项目不规范”被暂停审批。如今，交易问题虽可通过放宽抵消比例及交易门槛得到缓解，但仍需留意其对碳配额价格的冲击及对排放成本的影响。CCER项目的规范性问题也难以一劳永逸，涉及方法学、基准线动态优化及碳监测，还需要持续动态完善。

“此外，CCER再次启动后的管理模式有变化，企业要注意《温室气体自愿减排交易管理办法》带来的管理体制转变，了解新机制对市场运行和参与者角色的影响，以确保适应新的管理模式。”王科进一步表示。

向柳直言，目前CCER刚刚启动，仍处于发展早期，还面临不少挑战。一方面，弱化行政色彩后，如何保证CCER项目、减排量的质量和认可度是一大挑战，要防范数据弄虚作假等行为，提升项目合规性；另一方面，社会对温室气体自愿减排机制的认识仍不足，一些企业和机构盲目跑马圈地，要防范投机炒作甚至诈骗等行为。

“此外，在CCER方法学方面，目前，生态环境部只制定发布了造林碳汇、并网光伏发电、并网海上风力发电、红树林营造4项温室气体自愿减排项目方法学。期待今年还能再公布一批新的方法学，进一步扩大CCER市场的覆盖范围。”宋雨彤表示。

上接1版

红海危机持续，全球能源市场震荡

在业内人士看来，虽然航运受阻，但对能源供应和价格的影响有限，除非发生极端情况。

熊维强调，如果该危机持续发酵，欧洲目前充足的天然气库存将加速消耗，天然气供应可能不如今之前预计的那样乐观，但估计对当前影响不大。值得注意的是，如今卡塔尔在全球LNG供应中有举足轻重的地位。欧洲一些国家在近两年也开始跟卡塔尔签署LNG长协，如何保障这一贸易流的及时性和可持续性，是欧洲进口商需要考虑的问题。

叶霖则表示，红海危机带来的风险与俄乌冲突带来的变化类似。市场最终会通过跨区套利和贸易流向来保证能源和产品的供应。极端情况下，一旦曼德海峡停航，中东原油将很难到达欧洲，原油贸易流向将发生一系列洗牌。成品油市场将面临巨大挑战。

针对这些挑战，国际社会和能源进口国必须采取灵活多变的应对措施。

研究机构Climate Alpha创始人和首席执行官帕拉格·康纳在美国《外交政策》双月刊网站撰文指出，如今，世界面临诸多不可预测的危机。要保障全球公共利益，就要解决供应链冲击，探索更多的供应途径。海上要道存在脆弱性，世界上只有中国在多年前就深谙这一点，并且采取了行动。共建“一带一路”倡议代表所有国家为了自身利益都应该去做的事——建立尽可能多的供应通道。这既可以对冲不可见的供应中断，又可以提升自身的连通性和影响力。建设更多的跨欧亚大陆的公路和铁路，在印度洋和北冰洋沿岸建设更多港口，是提升全球货运及商品贸易灵活性的关键措施，是面对冲击的防御性措施。

世界最大清洁能源走廊去年发电量超2760亿千瓦时



图片说明

据三峡集团消息，世界最大清洁能源走廊2023年发电量超2760亿千瓦时，同比增长5.34%，相当于节约标准煤约8300万吨，减排二氧化碳超2亿吨，可满足超2.9亿人1年的生活用电需求。

图为1月24日，在湖北省宜昌市秭归县拍摄的正在稳健运行的三峡大坝和外送输电线路。

人民图片