

# “黑”科技成就“绿”事业

——山西文龙中美聚焦低碳技术,为能源革命提供山西方案

■侯瑞虹

从远古时期的钻木取火发现生物热能,到17世纪末英国人发明蒸汽机开启工业革命,再到1969年法国人建成第一台太阳能发电站清洁能源登上历史舞台,可以说,人类发展史伴随着能源的开发和利用。现如今,绿色发展、低碳发展、循环利用,成为能源革命首要目标。

作为全国第一个全省域转型综改试验区,第一个能源革命改革试点,山西把落实低碳目标、建设美丽山西摆在战略优先位置,把低碳、节能、提效作为重要突破口。而作为新晋国家级专精特新重点的“小巨人”企业,山西文龙中美环能科技股份有限公司(以下简称“文龙中美”)多年来锚定环保事业、聚焦低碳技术,在余热资源回收、煤矿充填开采、火电深度调峰领域,持续攻关,相继推出一系列“黑”科技,为能源革命提供了“山西方案”,成就了一番“绿”事业。

## 聚焦工矿企业余热资源应收尽收

工矿企业余热资源回收利用技术,是文龙中美的一项“黑”科技。在他们的眼中,煤矿职工洗浴废水是撬动节能减排的杠杆,矿井自由流动的乏风是调节资源浪费的节排器。

2013年,煤矿洗浴废水余热利用技术研发成功,并获得国家专利,2014年开始在相关企业推广应用,2015年在山西焦煤西山煤电东曲矿大获成功。

该技术通过一次换热和污水源热泵,分别提取洗浴废水热量,加热自来水,满足洗浴需求,替代原有燃煤、燃气、燃油、甲醇锅炉。制备一吨42摄氏度的洗浴水仅需3度电,成本是燃煤锅炉的1/3、燃气锅炉的1/4,热效率是空气源热泵的3倍,节能效果显著。可广泛用于矿井等大型工矿企业及学校、医院等日用洗浴热水量需求不小于150吨的浴室。

此后,文龙中美研发团队乘胜追击,空压机余热利用技术、矿井回风热能梯度高效利用技术、矿井水余热高效利用技术等九大核心技术相继登场亮相。其中,矿井回风乙二醇双级提热热泵技术,入选国家自然资源部发布的《矿产资源节约与综合利用先进适用技术目录(2019)》,是该目录中70项煤炭类技术中,唯一一项煤矿余热资源化利用技术。

中国富煤贫油少气的资源禀赋,决定了煤炭长期以来是中国工业的“主粮”。煤炭产业链条长,涉及面宽,很多技术都是一直在研发、升级中。如何让传统产业环保节能发展,是许多科研团队孜孜以求的攻坚目标。文龙中美的矿井回风乙二醇双级提热热泵技术正是切中了这一时代命题。

矿井回风是煤矿生产的生命线安全线,进风温度必须大于2摄氏度。但是对于山西的忻州、大同乃至很多高纬度地区来说,冬天的温度动辄零下二三十摄

氏度,这几十度的温差之下,进风温度提高到2度以上,无论用煤还是用电加热,一刻都不能停,每年都是一笔很大的开支。

“全世界煤矿”目前在采的中国最多,山西又是中国煤矿最多的省份之一。世界上最先进的煤矿技术在山西,最实用、最先进的煤矿节能环保技术也必然诞生在山西。”文龙中美的负责人如是说。公司专注于做节能技术服务方案解决商,2015年提出高寒地区矿井回风热能梯度高效利用技术的设想,从山西实际情况出发,把矿井出来的热风热量,用公司研发的专业设备提取,采用热能梯度高效利用方法,把进风温度从零下二三十摄氏度加热到规定温度再送至井下。经过两年的研发和实验,2018年,晋能控股集团同忻煤矿首先使用了这项全世界唯一的技术。煤矿数据显示,和传统的燃气锅炉加热相比,节约70%的费用,和电热风炉相比,节约2/3的费用。

立足省情和煤矿实际,在传统产业中挖掘新技术,是山西省专精特新技术发展的一个特点。特别是节能减排和清洁能源、环保技术方面,山西有着得天独厚的优势。近年来的实践证明,任何一个技术只要能在节能环保方面有大的突破,就当之无愧可以说是“单项冠军”技术企业。

戴着节能环保技术“桂冠”的文龙中美,吸引了越来越多工矿企业的目光,催生了工矿企业余热资源回收利用技术大面积推广的“马太效应”。几年来,文龙中美的“黑”科技,在晋能控股集团塔山煤矿等数十家煤矿企业相继落户,开花结果,成就了山西省域更多煤矿企业的“绿”事业,取得良好经济和社会效益。

## 聚焦煤矿充填多重目标一注达成

如何实现我国煤矿超大量三废(固、液、气)低成本地质封存及生态环境协同发展,是中国科协发布的2022十大工程技术难题之一。文龙中美研发的数智化覆岩离层注浆充填技术,正是重点解决这一难题的关键“密钥”,是文龙中美瞄准煤矿“绿色开采”而聚力攻关的第二大“黑”科技。

山西因煤而兴,山西也受煤之困。

长期以来,传统长壁式采煤方法由于暴露面积较大,无休止的地表塌陷——充填治理怪圈,成为困扰煤矿企业可持续发展的一大难题。无数采矿人不断寻求控制地表塌陷,又充分复用煤基固废(煤矸石、粉煤灰、煤泥等)更优解。

采煤沉陷区治理同样是得到高度关注的问题。“开展煤矿充填开采可行性研究”是国务院采煤沉陷区综合治理部级联席会议确定的11项重点工作之一,为掌握煤矿充填开采现状和存在问题,探讨推行充填开采技术的可行性,“因地制宜推广高效充填开采等先进工艺技术,降低采煤沉陷影响”成为煤矿充填技术研究方向。

文龙中美研发团队将目光锁定煤矿充填技术研究。据文龙中美研究团队负责人介绍,煤矿离层注浆技术在上个世纪80年代引进我国,相继在辽宁老虎台、河北开滦等地实践,后因设备工艺、支撑理论等瓶颈制约逐渐暂停,21世纪初,中国矿大研究团队,经过反复改进和提升,该技术在两淮地区再次兴起。

山东、陕北、内蒙古等地的部分矿井,地层中的关键层,具有厚度大、强度高,埋深适中,连续性好等特点,被称之为典型关键层。但典型关键层的赋存条件相对理想化,我国大部分煤矿中非典型关键层赋存则比较普遍。以我国山西太原、长治为例,如西山煤电屯兰矿、山煤国际霍尔辛赫矿等,其缓慢下沉带地层中的所谓关键层,具有厚度不太厚,强度不太高,连续性不够好的特点,被称之为非典型关键层。

在这种地层条件下,继续采用典型关键层下注浆控制技术,往往出现效果不尽如人意,反复跑浆、地层断裂等现象。

鉴于此,数智化覆岩离层注浆充填技术应运而生。

对于如何保持离层注浆效果的长期稳定性,以及保证受护对象长久安全的使用。文龙中美团队采用“脚穿鞋、顶戴帽”的综合处理措施来实现。

所谓“穿鞋”是将检查孔打入煤层底板以下,通过高压旋喷加固技术将浆液注入到稳定的地层中,在受护构筑物底部区域形成稳定的可以对地基承载力加强的底部支撑。“戴帽”指提前对上覆岩层中可能产生离层的岩层进行预判,对检查孔中此地层所在的位置进行射孔操作。并进行压水监测,以判断离层的发育情况,一旦有漏失现象发生,即进行二次注浆操作。实际操作中,将粉煤灰、煤泥、煤矸石等煤基固废与矿井水混合配比成浆液,通过地面钻孔向关键层下方采动裂隙注浆充填。注浆凝固后,产生“压下托上”作用,在关键层下方形成全域支撑体,有效阻止关键层断裂,防止地表塌陷。

通过“穿鞋带帽”技术的实施,可对建/构筑物的地基承载力进行有效的加强,同时对于离层注浆减沉技术实施后可能产生的地层滞后下沉现象。该技术应用包括“三下”采煤、沉陷控制、处置固废、减震防冲、保水开采等,实现了多重目标——“注”达成,绿色开采安全高效。

首先,我国“三下”压煤量巨大,尤其在埋深大、煤层层数多的矿区。该技术应用不仅保护了地面建筑物、铁路、地下水体不被破坏,而且实现多出煤、降成本、高效率、保安全、解放压覆煤炭资源,提高资源

回收率。

其次,地表减沉技术最广泛适应于建/构筑物压煤开采。推广应用后,实现了“三下”安全开采,建/构筑物下沉系数小于0.1,处于规范允许变形以内。

第三,处置固废。“双碳”目标下,煤矿面临固废减排和综合利用迫切需求。该技术处理粉煤灰、煤矸石、煤泥等固废,实现无害化减排目的。

第四,减震防冲。该技术能够防止坚硬岩层破碎,减小其能量释放,减缓实体煤应力集中,从而实现减震防冲目的。

第五,保水开采。该技术通过控制关键层不破碎,降低充填层位以上岩层破裂程度,使其免于长壁开采导致的渗透性增加,从而减少浅部含水层向下渗流,达到保水效果,在干旱、半干旱矿区水资源保护中具有重要意义。

总之,这项控制关键层不断裂的源头技术,在不改变工作面采煤工艺与装备的同时,保证地面注浆与井下采煤互不干扰、同步实施,一举实现提高资源回收率、延长矿井服务年限、保护含水层资源、减少冲击地压、保护地面建(构)筑物、保护土地与环境、无害化处置煤基固废等多重目标,突破了我国煤矿绿色开采技术难题,为煤炭开采开启全生命周期“绿色循环之旅”。

2021年10月,数智化覆岩离层注浆充填技术首先在山西焦煤国际霍尔辛赫煤矿3501工作面推广,目前该矿一期工程胜利竣工。经测算,可释放“三下”压煤量约51万吨,产生直接经济效益3.7亿元。每年处理矸石70万吨,节约矸石处置费3400万元。每年处理矿井水1156立方米,节约处理费208万元,节约地表附着物迁建、修复等费用5854万元。

一期工程结束后,项目评审组一直认为,文龙中美的这项技术,在霍尔辛赫矿的成功实践,不仅解决了非典型关键层下注浆控制沉降工程中,易跑浆、效果差等现象,丰富了离层注浆理论,也可有效解决我国许多地区,非典型关键层下的煤炭解放难题。

项目上报集团后,也得到集团外聘专家的交口称赞,认为这项技术不仅解决了许多技术难题,经济价值也十分可观。一是效果好。地面一注能够有效保护建/构筑物、工业设施与环境,损伤低。二是效率高。技术操作不繁琐,只需地面打孔注浆,无需对采面做任何改变,无需专用充填支架,不改现有采煤工艺,充填与采煤同步实施干扰最小,单工作面年产量可达300万t/a。三是成本低。覆岩离层注浆充填使用的材料是煤基固废,可就地取材,不仅来源广,成本低,而且无害化处置、减轻环保压力,综合充填成本仅需40元/t-60元/t。关键还能有效利用煤基固废,无需申请排堆场雇人拉运,免除固废污染后顾之忧。四是适应广。覆岩离层注浆充填技术,凭借强大的适用性,已成功用于综采、综放工作面、单一煤层及多煤层开采,最大采厚达9米。

山西焦煤国际霍尔辛赫煤矿3501工作面的试采成功,为解决山西省这个煤炭大省诸多高产高效矿井受“三下”压煤困扰问题,以及大量固废煤矸石的堆放及环境污染问题,提供了十分宝贵的可借鉴经验,具有可持续发展示范效应,社会效益潜力巨大。

## 聚焦火电机组深度调峰以煤代油

近年来,风电、光伏发电等新能源电力行业高速发展,正在引领新一轮能源革命。随着新能源电力在电力系统中占比将逐步提高,对电力系统调节能力提出了更高的要求。时间上,风光发电受自然环境影响,发电波动性较大,且出力往往同用电负荷不匹配。空间上,风光装机主要分布在东北、华北北部和西北地区,与用电负荷较高的中东部地区存在空间上的不匹配。

为了维持弃风弃光率在合理范围,亟需通过加大调峰能力建设投入,来持续推动消纳水平的提升。此时,文龙中美研发的大调节比燃烧器深度调峰技术,作为又一项“黑”科技,应运而生。

该技术通过融合煤粉燃烧技术、中频电加热技术和两相流输送技术,一举突破冷炉条件下直接点燃煤粉燃烧器的难关,可使火电机组降低负荷75%。2018年8月,在哈尔滨锅炉厂有限公司30MW试验台成功完成热态试验。2019年5月,开始在山西焦煤武乡电厂2#火电机组工业化应用。2021年1月完成调试。同年10月山西省能源局委托山西省电科院完成验收。

该项目顺利完成国家电网对2#机组纯凝工况下最小出力试验、AGC试验、一次调频试验三项验收,各项参数均符合规定。武乡电厂因此成为山西省调峰能力达到35%额定负荷且通过国家电网验收的电厂。

项目投入使用后,1台600MW机组1年调峰2000小时,可消纳2.4亿kWh新能源电力,节约标煤8万吨,且不产生固废、废水及废气,在一定程度上减少油气依赖,大量消纳新能源,实现锅炉全煤层燃烧和深度调峰能力。

近年来,新能源电力快速发展,装机规模不断扩大,新能源发电出力及发电量屡创新高。为优先消纳新能源,受国家政策干预影响,火电机组长时间停机备用,受制于设备安全及可靠性,火电机组不能短时频繁启停,造成高峰期新能源小发时段电力保供能力下降,而大调节比燃烧器深度调峰技术的出现,根本



解决了这一难题,启停变得越来越得心应手。

参与评审的多位专家指出,这是一项去油化、革油命的颠覆性技术,是火电机组调峰新常态下灵活性改造首选,将彻底摆脱对油的依赖,对解决我国富煤贫油少气问题具有重大战略意义。同时,在“双碳”经济背景下,火电的深度调峰能力将实现清洁能源与传统能源优势互补,发挥出巨大的协同作用。

2022年以来,国家继续统筹指导煤电企业着力抓好煤耗300克以上机组,特别是亚临界机组节能降碳改造、大型风光基地配套煤电灵活性改造、东北地区和工业园区供热改造,逐步降低煤电装机占比和发电量占比,进一步提升煤电灵活调节能力和清洁高效水平。

4月20日召开的国务院常务会议明确,要推动煤电机组节能降耗改造、灵活性改造、供热改造,提高能源使用效率,2022年煤电机组改造升级规模将超过2.2亿千瓦。

5月10日,国家发改委等六部门联合印发《煤炭清洁高效利用重点领域标杆水平和基准水平(2022年版)》,为燃煤发电机组、燃煤供热锅炉等划定各类指标基准线,对标“双碳”目标任务,加大财政资金支持力度。

有学者表示,从政策端来看,“十四五”期间,国家大力鼓励火电企业发展灵活性改造,强调存量煤电机组应改尽改,预计“十四五”期间将完成2亿千瓦,对市场空间超过300亿元。

事实证明,煤电机组完全具备灵活性改造效果好、性价比高、周期短的特点,因此可以说火电灵活性改造中推广应用文龙中美研发的大调节比燃烧器深度调峰技术,将是“十四五”期间推动新能源消纳最重要的手段之一。



武乡电厂火电灵活性深度调峰项目



山西焦煤东曲煤矿机房



数智化覆岩离层注浆技术应用于山西焦煤霍尔辛赫煤矿