

坚持创新驱动 引领煤矿智能化发展

——陕煤集团以科技创新打造世界一流企业

屈永利 于水 刘长来 陈永光

科学技术是第一生产力。陕西煤业化工集团有限责任公司（以下简称陕煤集团）始终以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入践行“四个革命、一个合作”能源安全新战略，以“智能矿井、智慧矿区、一流企业”为目标，坚持创新、安全、绿色、高效、和谐的发展理念，以煤矿智能化建设为主线，持续强化技术创新与管理创新双轮驱动，充分发挥科技创新在发展全局中的核心作用，不断完善科技创新体制机制，大力开展科技攻关，加快推广应用新工艺、新技术、新装备，为陕煤集团引领煤矿智能化建设、打造世界一流企业提供坚实的技术保障。

持续攻坚智能化技术 不断突破瓶颈难题

煤矿智能化建设是推动煤炭产业高质量发展的关键，也是践行绿色发展理念，实现“碳达峰、碳中和”目标的具体举措。近年来，陕煤集团高度重视煤矿智能化的建设工作，由企业“一把手”牵头设立工作专班和“四化”（机械化、智能化、自动化、信息化）建设工作督导组，每年投入“四化”建设资金保持在20亿元以上，并同步设立3亿元的煤炭板块科技引导资金，加大技术攻关，加快智能技术创新与应用，煤矿智能化建设呈迸发态势，成果丰硕。



图1 陕西陕煤黄陵矿业有限公司一号煤矿智能化无人综采工作面

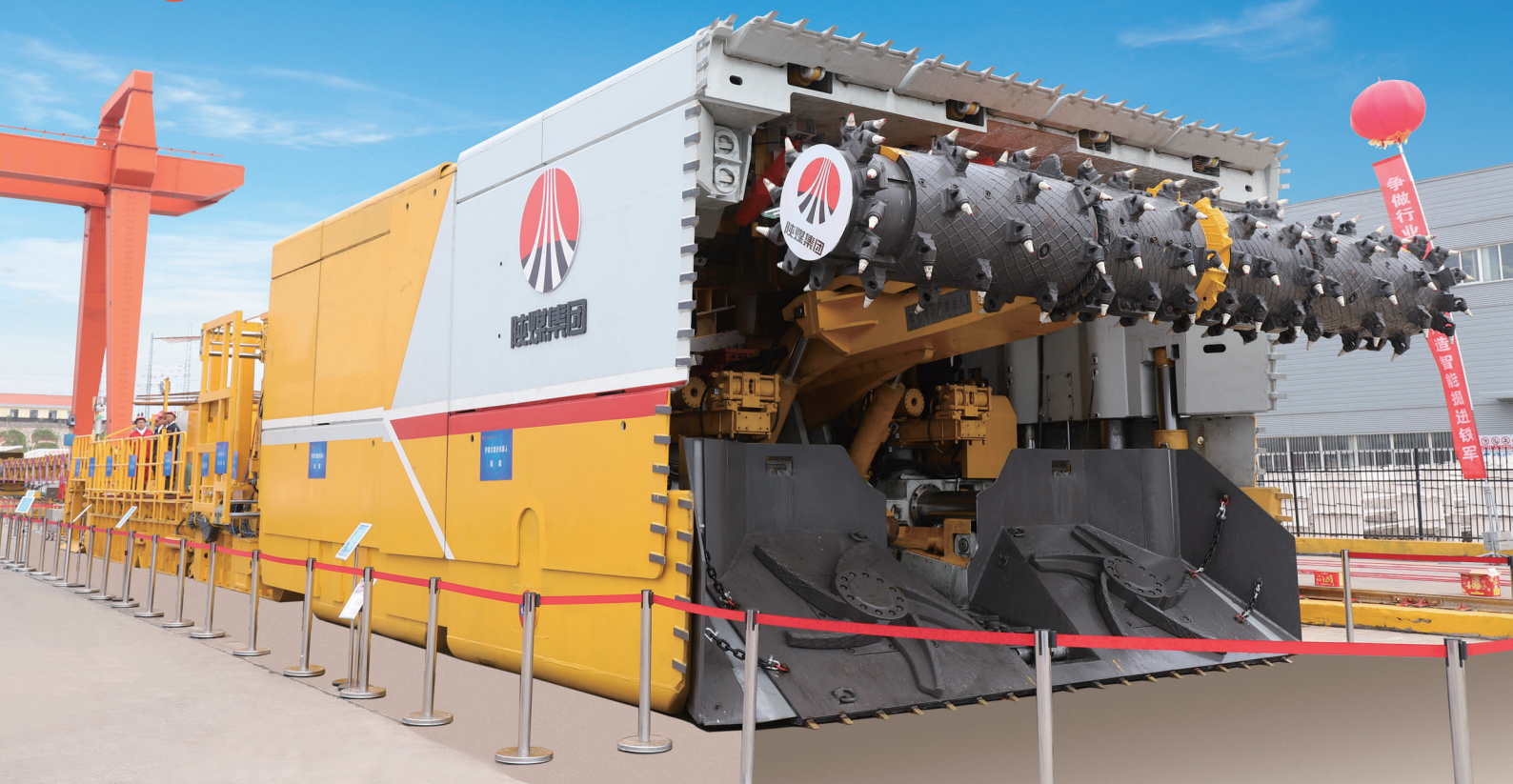


图2 国内首套护盾式智能掘进机器人

（1）智能化无人开采工作面

2014年，陕西陕煤黄陵矿业有限公司一号煤矿（以下简称黄陵一号煤矿）率先建成全国首个薄煤层智能化综采工作面（图1），实现了“无人跟机作业，有人安全巡视”的目标，成为中国煤炭开采史上具有里程碑意义的一次革命。2016年，国家安全生产监督管理总局“煤矿智能化开采技术创新中心”在陕西陕煤黄陵矿业有限公司挂牌。自2019年以来，黄陵一号煤矿先后完成了地质勘探及模型构建、精准控制系统构建、综采工作面大数据分析智能决策平台应用，首创了可预测、预判、预控的综采大数据智能决策平台，攻克了高精度透明地质建模难题，将“地质-设备-生产”紧密联系并形成闭环，为智能开采提供精准的地质导航与地质保障，构建了多源异构数据与安全关联分析决策模型，基于对开采装备的智能精准控制，实现了由传统记忆截割的智能开采1.0模式向三维空间感知和智能大数据分析规划截割的智能开采3.0模式跨越。

（2）护盾式智能掘进机器人

陕煤集团针对所属矿井巷道断面大、围岩破碎易片帮、除尘效果差等掘进难题，首创应用封闭式

设计理念，自主研发应用了国内首套护盾式智能掘进机器人（图2），具有智能定位定向、定形截割、行驶纠偏、智能运网布网、高效钻锚及可靠护帮、多机器人协同控制与并行作业、远程智能监测监控等功能，实现了地面与井下全系统虚拟智能测控和一键启停，有效提高了掘进作业效率，减少了作业安全隐患，解决了复杂地质条件下大断面巷道快速掘进的难题。护盾式智能掘进机器人在小保当矿业有限公司一号煤矿成功应用，在煤层夹矸厚度达2.0 m的情况下实现最高月进尺1 052 m，为行业探索智能快掘技术与装备应用开辟了先河，成为陕煤集团“智能快掘”的新名片。

（3）450 m智能化超长工作面

根据中厚煤层小采场开采效益低的现状，针对工作面加长后顶板控制理论与技术、工作面装备配套模式、安全保障技术、装备稳定性和可靠性较低等问题，陕煤集团在小保当矿业公司二号煤矿建成了全国首个450 m智能化超长工作面（图3），实现了单班7人的少人化开采和常态化运行，最高日产超过4万t，月产达108.6万t。首创的1 050 mm大截深开采工艺和成套关键技术与装备，为2~3 m



(a) 超长工作面远程操作



(b) 超长工作面

图3 全国首个450 m智能化超长工作面

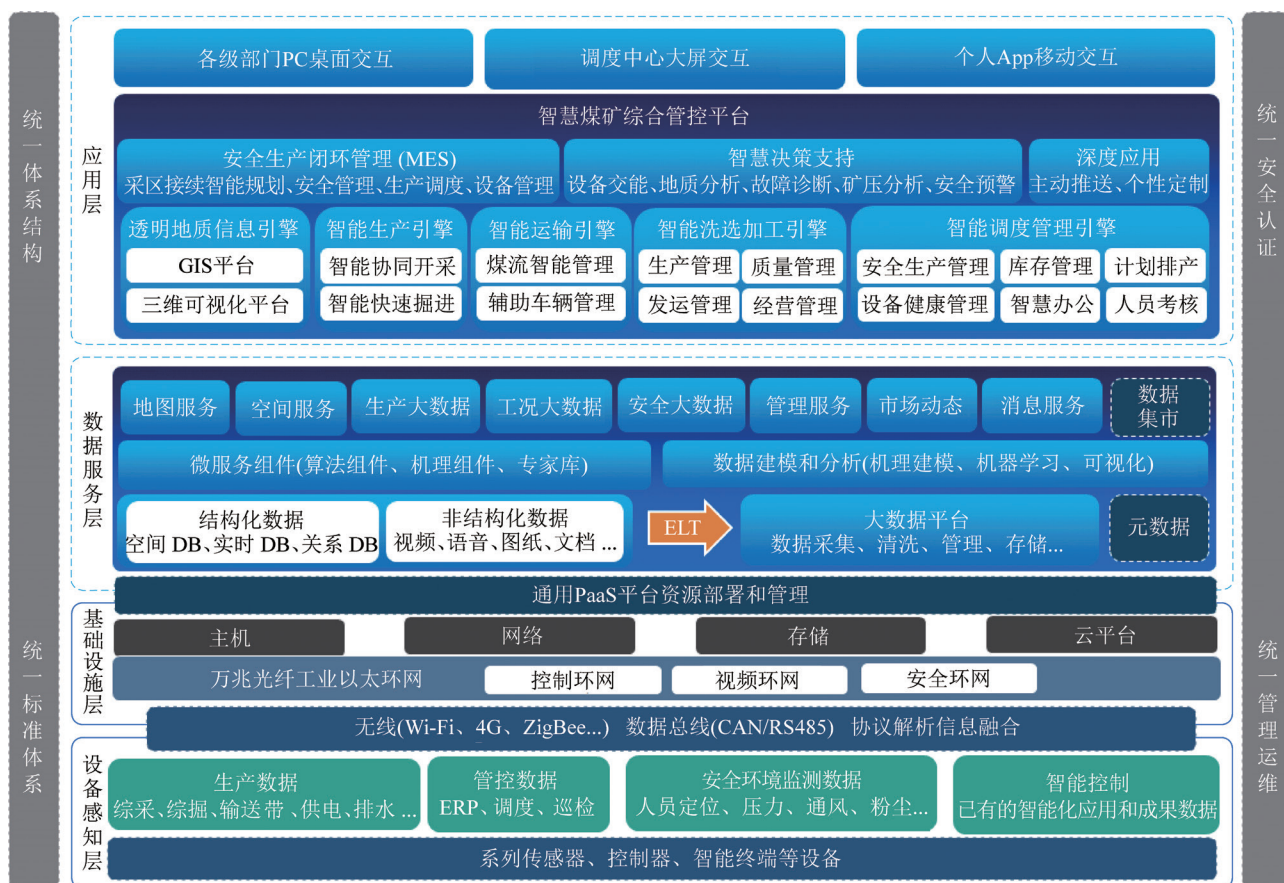


图4 张家峯智能化煤矿总体架构

类似煤层赋存条件的高速截割、高效生产提供了新的解决方案，实现了煤炭开采领域的重大突破与技术变革，引领了中厚煤层开采技术的发展方向。

(4) 智慧煤矿巨系统

陕西陕煤陕北矿业有限责任公司（以下简称陕北矿业）经过3年的创新实践，以智能化采掘工作

面、智能化主煤流运输系统、智能化生产辅助系统、特种机器人等关键子系统为主，以智慧园区中的生活、办公、服务各领域子系统为辅，打造出独具特色的张家峯智慧矿区样本，首次开发了基于工业互联网的智能综合管控平台及大数据系统、基于透明地质模型的4D-GIS地理信息系统、智能

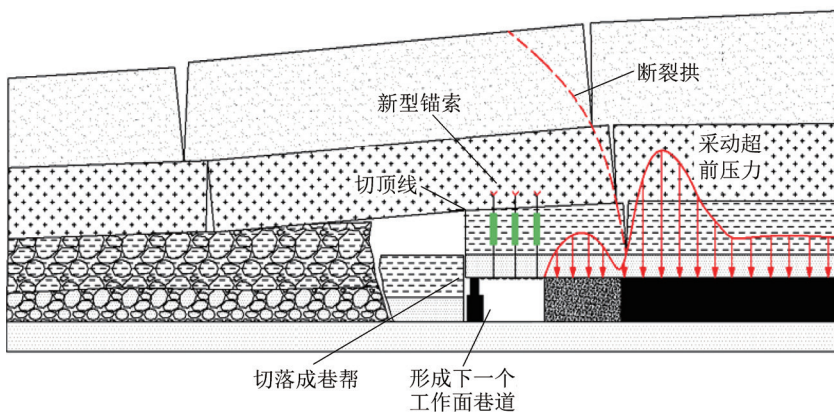


图5 柠条塔煤矿机器人管控平台
图6 切顶自动成巷无煤柱、无巷道掘进开采技术原理

通风综合管控系统等14项可供复制推广的首创成果，着力构建立体式全方位综合智能生态系统。张家峁智能化煤矿总体架构（图4），涵盖信息基础设施、智能地质保障系统、智能采煤系统、智能掘进系统、智能主煤流运输系统、智能辅助运输系统、智能通风系统、智能供电与供排水系统、智能安全监控系统、智能综合管控平台、智能化园区、智能经营管理系统、智能环保管理系统等13大系统，共计50个智能化子系统，所有系统智能化作业占比80%以上，矿井累计减人345人。

（5）煤矿机器人集群协同调度平台

目前，煤矿机器人和智能装备多为单体智能化装置，机器人本身缺少与精准位置服务、作业环境参数等信息集成融合的应用，导致无法对机器人集群实施系统性、一体化的远程监视与协同控制。陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司（以下简称柠条塔煤矿）与王国法院士团队合作，融合基于云计算平台的多源异构数据处理技术，基于数字孪生的机器人仿真与控制技术等，建设了全国首个矿井机器人

集群协同调度平台（图5），统一煤矿机器人集群数据接入标准，对多个厂家的机器人设备实现统一平台的数据监测、可视化仿真和远程协同控制，突破了当前“多机器人-多软件-多协议-多部门”的管理模式，实现了一平台对多机器人系统的综合管控，节省了运维和人员成本，提升了企业安全管控效率。

（6）“110/N00工法”开采

在何满潮院士“切顶短臂梁”理论基础上实现了切顶自动成巷无煤柱、无巷道掘进开采技术（图6）。从2016年开始，世界首个“N00”工作面在柠条塔煤矿进行现场试验研究，目前，已全部顺利完成留巷和开采复用验证等工作，验证工作面已成功推进开采1 784 m，研究成果达到国际领先水平，促进了煤炭资源的安全、高效、节约、绿色开采的进步，被誉为第三次矿业技术革命的代表。

“N00工法”及关键装备已被写入国家发改委、工信部、国家能源局文件《中国制造2025—能源装备实施方案》，应用前景广阔。

科技创新 推动陕煤集团高质量发展

近年来,陕煤集团以提高企业发展质量和效益为中心,围绕“智能矿井、智慧矿区、一流企业”大力推进“四化”建设,强化技术攻关和科研管理,围绕煤矿安全生产中心,构建运行煤炭产、供、销“三网一平台”智慧联动管理系统,提升企业的综合实力和核心竞争力。

(1) 煤矿安全高效生产取得新成就

陕煤集团围绕煤矿智能化建设,不断加大科技创新力度,有效提升了人员的工作效率和产能释放的高效率转换。与2018年相比,陕煤集团所属煤矿的大采高智能化工作面,年生产能力由450万t提升至600万t,平均工作面单产实现45万t/a,提高了45%,智能综采工作面全员劳动效率由人均3 649 t提升至4 800 t,提高了31%,陕北、黄陵矿区全员年均工效超过1万t,年均工效最高的榆北煤业超过2万t;煤炭产量也由2004年的2 802万t/a增加到2021年的2亿t/a;矿井掘进工作面综合每月进尺实现328 m/个,与2018年相比提高了30%,陕北矿区智能快掘单进最高实现2 800 m/月。

(2) 安全发展迈上新台阶

全面建成运行安全生产信息共享平台,陕煤集团36对煤矿全部升级建成了安全双重预防信息系统,为安全生产管理人员及“四员两长”配备手持智能终端3 352部、智能矿灯1 998盏,在矿井采掘作业区域和关键部位安装高清摄像头,实现了实时监控全覆盖、无死角。韩城矿业下峪口煤矿“双重预防”信息平台被中煤协会鉴定为国际先进水平。深化NOSA安健环风险管理试点工作,陕煤集团12对试点矿井,6对已取得星级,其中黄陵一号煤矿通过4星评审,胡家河煤矿、柠条塔煤矿保持3星,为煤炭行业NOSA管理提供了借鉴。建成了陕西省内首套智慧化瓦斯抽采效果动态评价系统,8对冲击地压矿井全部建成微震应力等多种监测系统,全年各类探查工程均超额完成。陕煤集团36对生产矿井中,实现安全周期1 000天以上的矿井

26对,其中安全周期3 000天以上的有13对,井下和地面伤亡事故同比分别下降50%和71%,2020年全年煤炭百万吨死亡率为0.005,创造了集团历史百万吨死亡率最低的纪录,各级安全红线意识和安全管理水平得到了大幅提升,安全基础保障能力得到了进一步加强。

(3) 技术创新开创新局面

陕煤集团通过不断健全完善科研管理体制机制,强化2个国家级平台及黄陵、韩城等7个研究中心科研力量,稳步提升了整体科研创新能力和技术研究水平。2021年煤炭板块鉴定项目17项,其中国际领先水平9项,国际先进水平8项;获得国家级、省(部)级各类奖励79项,其中国家科技进步二等奖1项,陕西省科技进步一等奖2项,中国煤炭工业科技进步特等奖1项、一等奖3项、二等奖8项、三等奖2项,陕西省煤炭学会科技成果奖19项,其他奖项43项;118个创新项目荣登中国煤炭工业协会“五小”创新成果榜单,获奖项目总量创历年新高。

“十四五”科技创新发展方向

“十四五”期间,陕煤集团将持续发挥内部科研平台和外部技术优势,加大关键技术攻关,重点在“智能矿井、智慧矿区”建设、快速掘进系统建设、巷道系统“三优两提高”、灾害治理“一超三治三提升”、煤矿专用智能设备、绿色矿山建设和管理创新等7个方向开展重点科技攻关,促进科技成果转化应用,不断提升企业智能化建设科技贡献率。

(1) “智能矿井、智慧矿区”建设

重点开展智能采煤系统技术研发,加快精准地质探测、煤岩识别、惯导精准定位、三维透明地质、多机协同控制等方面的技术突破,实现智能开采技术由“传统记忆截割”向“自主规划截割”迭代升级;黄陵、彬长、榆北、陕北矿区重点开展智能矿井建设与示范研究,榆北、彬长矿区重点开展“5G+智慧矿区”示范建设研究,建立智能矿井建

设与标准体系，提高矿井智能化水平。

（2）快速掘进系统建设

坚持“因地制宜、一矿一策、务实高效”的原则，开展研制适合不同环境及条件的快速掘进装备，加强快掘辅助环节及配套工序智能化的研究应用，攻克掘进进尺自动上传、自动铺网，自动上药卷、锚杆、托盘，自动锚固等技术环节。陕北矿区重点开展快速掘进智能辅助系统及配套工序研究；彬黄、关中矿区主要开展智能“掘-支-运”平行作业研究，不断优化快速掘进装备及施工工艺，全面提高单进水平。

（3）巷道系统“三优两提高”

持续开展巷道系统“三优两提高”研究，优化巷道布置，积极推广盘区“后退式”开采、“110/N00工法”、工作面间“小煤柱”工艺、扩大采（盘）区、采煤工作面几何尺寸；优化巷道支护参数，提高锚杆预紧力强度，试行差异化支护方式；优化劳动组织，推行巷道智能化支护技术，探索物料运输智能化技术；提高装备水平，推广岩巷综掘技术，推广应用智能喷浆技术，煤巷全部实现机械化掘进，60%的岩巷实现机械化掘进。

（4）灾害治理“一超三治三提升”

针对瓦斯、水、火、冲击地压等灾害开展超前探查、探索超前治理、区域治理和综合治理等有效方法，不断提升灾害治理能力、灾害治理效率和安全保障能力，确保煤矿安全生产；彬长、韩城矿区推广地面钻井水力压裂消突、防冲、瓦斯抽采技术研究，以及井下顶板定向钻孔水力压裂等区域消突、防冲、瓦斯预抽技术研究；继续加大对水力压裂、水力割缝、二氧化碳驱替瓦斯和高位钻孔替代高抽巷等技术的推广力度。

（5）煤矿专用智能装备

重点开展对巡检机器人、综采工作面立柱更换机器人、采煤机专用支架搬运车、超前掩护支架运输及回撤专用车辆、水沟清理机器人、巷道清洗机器人、智能喷浆机器人、智能巷道地坪摊铺车、巷道起底扩帮修复机、管路装卸机器人等智能装备的研究实践，进一步减轻劳动强度，提高安全作业保障能力。

（6）绿色矿山建设

重点开展低浓度瓦斯、矿井余热、地热资源开发利用技术、瓦斯“零排放”、矸石井下回填及利用技术、矿井水处理及利用技术、采空区吸储CO₂及沉陷区生态重构技术等研究，各煤炭生产建设单位及煤层气公司重点建成地热资源利用与绿色开采示范矿井，实现绿色低碳发展。

（7）管理创新

重点开发地质保障系统、节能环保耗能在线监测管理平台、科研管理信息系统、安全生产标准化信息管理、设备全生命周期管理和国土空间生态修复时空大数据平台等六大系统，实现各系统在煤炭板块上线运行和全面应用；加强煤矿智能安全监控系统、智能综合管控平台等信息系统的推广建设与应用工作，大幅提升管理效能。

结 语

未来，陕煤集团将始终坚持科技创新是引领发展的第一动力作用，不断完善“板块—公司—矿井”3级科技管理机构体系，推进科技创新工作信息化发展，持续加大科技投入，规范科研项目全过程管控，充分发挥“煤炭绿色安全高效开采国家地方联合共建工程中心”等科研平台的作用，进一步提升科技创新工作管理水平。在“智能矿井、智慧矿区”建设等方面大力开展科技攻关，强化重大技术创新示范引领，推广应用先进技术，培养科技创新人才队伍，构建开放型合作创新生态，为陕煤集团煤矿智能化建设提供坚实的技术保障。

■ 责任编辑：李艾稣

作者简介：

第一作者：屈永利，教授级高级工程师，现任陕西煤业股份有限公司副总经理，从事生产技术与科技管理工作。E-mail: quyl@shccig.com

作者单位：陕西煤业股份有限公司