

煤矿智能化建设中发展新质生产力的内涵、挑战与路径

王海军 黄万慧 王洪磊

2023年我国原煤产量为47.1亿t，占一次能源生产总量的69.7%；全年的能源消费总量为57.2亿t标准煤，其中煤炭消费量占比为55.3%。世界煤炭储量前5位国家的煤炭储量和产量如图1所示，我国的煤炭储采比仅约为美国和俄罗斯1/10、澳大利亚的1/8、印度的1/4；但煤炭产量却占全世界煤炭产量的50%以上，储备资源紧张。作为世界最大的能源生产和消费国，长期以来煤炭都是支撑我国国民经济发展的主体能源，是国家能源安全的重要保障，其高质量发展已经成为我国能源变革的关键所在。

煤矿智能化是实现煤炭工业高质量发展的关键支撑技术，随着“双碳”目标持续推进，全球能源转型加速，煤矿智能化建设迎来了新的挑战与机遇。

新质生产力作为一种先进生产力质态，是当前煤矿智能化建设迈入更高阶段的关键因素，在煤矿智能化建设中发展新质生产力，已成为推动煤矿智能化建设高质量发展的内在要求和重要着力点，对于构建绿色低碳、安全高效的煤矿智能化生产体系，重塑煤炭生产关系具有重要指导意义。

我国煤矿智能化建设现状、挑战与机遇

现状分析

截至2024年4月，全国已经累计建成智能化采煤工作面1922个，智能化掘进工作面2154个，不同区域煤矿根据自身技术与地质情况形成了不同条件的智能化建设模式，我国煤矿智能化建设已经进入加快发展、纵深推进新阶段。2020年公布的《国家首批智能化示范煤矿建设名单》中，共遴选出71处煤矿开展国家首批智能化示范煤矿建设，其中井工煤矿66处、露天煤矿5处。2024年初，国家能源局公示了第一批通过验收的47处国家智能化示范煤矿，其中井工煤矿42处、露天煤矿5处，累计建成智能化采掘工作面564个，单面平均产能达到500万t/a，掘进效率与综采效率大幅提升，减人增安提效取得明显效果。

2020年国家首批智能化示范建设煤矿所在地区或央企的数量分布情况如图2所示，其中数量最多的为陕西省，共有10处；其次为山西省、山东省和国家能源集团，均为7处。国家智能化示范煤矿建设矿井主要集中在煤层地质条件相对较好的区域，这可以在一定程度上降低煤矿智能化改造与建设的

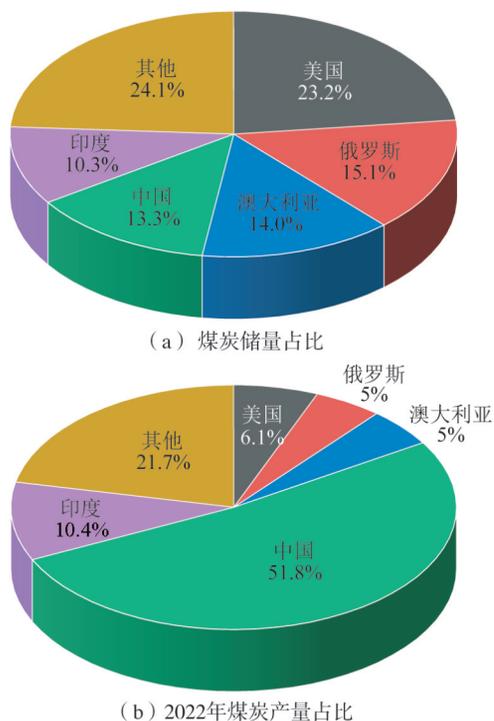


图1 世界煤炭储量前5位国家的煤炭储量与产量比较

难度，加快形成示范作用。

第一批通过验收的47处国家智能化示范煤矿所在地区或央企的数量分布情况如图3所示。由图3可知，国家首批通过验收的智能化示范矿井在全国主要产煤省区及涉煤中央企业都有分布，其中数量最多的为山东省和国家能源集团，均为6处，其次是陕西省和中国中煤，都为5处。

由图3可知，各地煤矿结合自身特点开展智能化建设，在全国形成了较好的示范作用。但是结合图2中各地区和央企的国家智能化示范煤矿建设数量可以看出，内蒙古、山西、陕西、新疆、贵州、山东、四川、重庆、国家能源集团、中国中煤、中国华能等地区或央企都还有一定数量未完成验收的国家智能化示范建设煤矿。其中，山西未完成验收的煤矿数量最多，为6处；其次为陕西5处、贵州3

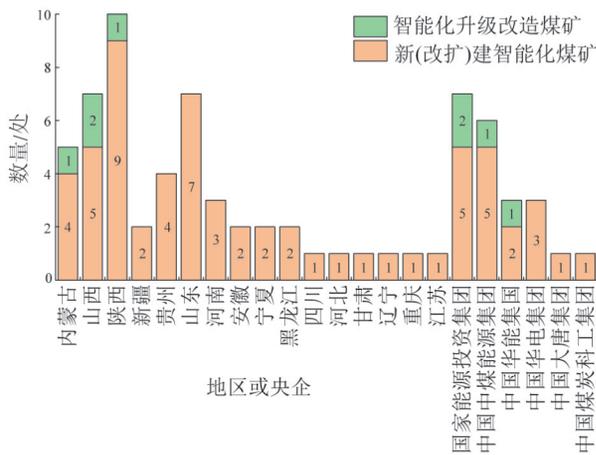


图2 国家首批智能化示范煤矿建设矿井所在地区或央企的数量分布

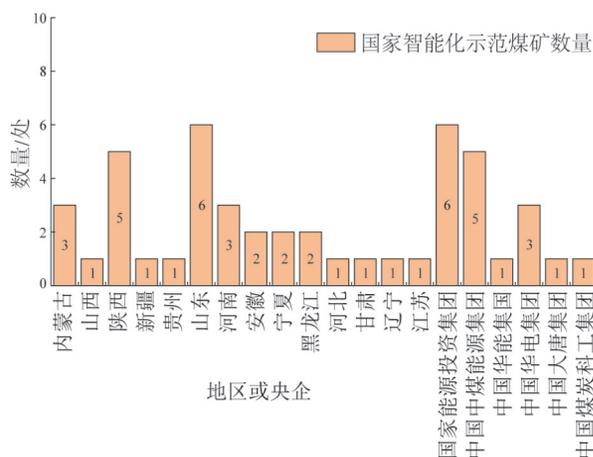


图3 国家首批通过验收的智能化示范煤矿所在地区或央企的数量分布

处。这表明当前我国煤矿智能化的发展速度并不均衡，由于地质环境、基础设施、技术人才等多重因素，不同地区煤矿推进智能化的速度存在明显差异。例如，山西、陕西和贵州等省都是煤炭资源丰富的地区，但是在智能化煤矿建设过程中却面临着更大的挑战，煤矿分布较广，煤炭赋存条件、智能化装备水平、高素质人才以及所属关系等都存在较大差异，使同一地区不同煤矿之间的智能化建设速度各异。

目前，我国煤矿智能化建设在井工煤矿、露天煤矿、选煤厂都开展了大量智能化建设工作，大量应用大数据、人工智能等先进技术，使煤矿的安全水平、开采效率都得到明显提升，在一定程度上促进了新质生产力的发展。

(1) 井工煤矿环境复杂、场景较多，智能化建设包括综采、综掘、主运输、辅助运输、综合保障等众多系统。例如，陕煤集团红柳林煤矿、国能神东煤炭上湾煤矿、中国中煤大海则煤矿等均完成了智能化综采工作面建设，采用基于地面操控为主的智能综采远程控制生产模式，以分布式工业控制系统结构，采用井上井下专网、专线设计，实现了地面常态化远程智能操控的新模式。智能化综采工作面建成了基于高精动态地质模型的自适应规划截割、工作面直线度监测系统、高精度人员定位及主动防护系统、采煤机与液压支架防碰撞监控预警系统、高清AI视频系统、数据分析及故障诊断系统和数字孪生系统等。中国中煤大海则煤矿和王家岭煤矿、陕煤集团红柳林煤矿、中国煤科天地王坡煤矿等都报道了各自煤矿在智能化掘进工作面建设方面取得的成效。采用掘锚一体机或智能化综掘机为主要的巷道掘进装备，分为掘锚一体机+后配套运输设备和综掘机+锚杆钻车+后配套运输设备2种掘进方案。掘锚一体机采用等宽全断面方式掘进，掘锚可以平行作业，掘进效率高，但地质条件适应性较差；综掘机与锚杆钻车需要交替作业，掘进效率较低，但具有普遍适用性。总体而言，掘进工作面的智能化进程相对落后于综采工作面，智能化建设成果表现为装备定位技术、自适应截割技术、钻车定孔技术

以及利用5G无线通信技术实现设备的无线远程控制等，一定程度上实现了智能掘进管控平台数据共享与设备远程集控，融合生产工序实现了掘进工作面的智能联动。此外，井工煤矿智能化建设在智能主运输系统、智能辅助运输系统、智能供电系统、智慧矿区以及煤矿地质保障系统和多元灾害智能协同治理等方面也进行了大量的探索与实践，取得了一定成绩。

(2) 露天煤矿方面，新疆天池能源有限责任公司南露天煤矿、神华准能集团有限责任公司黑岱沟露天煤矿、陕西神延煤炭有限责任公司西湾露天煤矿、中国中煤能源股份有限公司平朔东露天煤矿和华能伊敏煤电有限责任公司伊敏露天煤矿均已通过智能化建设验收，达到中级智能化标准。露天煤矿智能化建设以少人无人为导向，以数字赋能为重点，一定程度上实现了采矿设备自动化、开采数据可视化、开采过程透明化、采掘现场无人化、矿山环境低损化。露天煤矿网络基础设施建设速度快、效率高，建成了覆盖矿区的4G/5G专网，为露天煤矿实现无人驾驶、工业控制、人工智能等先进技术提供了网络覆盖保障。在完善的网络条件基础上，工艺流程与安全监测方面也是露天煤矿智能化建设的重点，例如，黑岱沟露天煤矿通过智能穿爆实现了全流程智能化，无人驾驶矿用卡车实现了多编组无安全员常态化运行，构建了无人驾驶矿用卡车健康管理系统，实施了“地表位移+深层位移”边坡监测预警，建设应用了运输卡车“四位一体”安全防撞预警系统和机动车安全管理平台。

(3) 选煤厂方面，国家第一批通过验收的47处智能化示范煤矿中有36处煤矿的选煤厂通过智能化验收，其中达到智能化等级中级的有30处、初级的6处。例如，中国煤科天地王坡煤矿的选煤厂为中级智能化选煤厂，其智能化系统由管理信息、末煤智能重介、智能压滤、智能视频管理、智能机器人巡检、煤泥自动冲洗、3D可视化、智能供配电、设备健康监测诊断、智能铁路装车和智能汽车装车系统11部分组成。通过设备全生命周期功能的应用，

使设备巡检、维护效率提升了20%；通过隐患管理功能的应用，使隐患管理效率提升了50%，实现了无纸化隐患管理；通过定期保养功能的应用，使设备保养效率提升了20%；通过报警与事件中心的应用，使全厂报警事件处理效率提升了20%。

可以看出，我国煤矿智能化建设在井工煤矿、露天煤矿、选煤厂等方面都取得了显著进展，这些进展主要体现在生产工艺的自动化、信息化和智能化水平的提升上。通过智能化先进技术的引入和应用，如5G通信、人工智能、物联网、大数据和云计算等，煤矿生产技术得到了创新发展，生产能力明显提高；并通过应用智能化系统，煤矿生产效率和管理效率显著提升。这些都是当前煤矿智能化建设中新质生产力的直接体现，对于促进煤炭工业高质量发展意义重大。

挑战与机遇

截至2024年4月底，全国已经建成国家级示范煤矿近60处、省级（央企级）智能化示范煤矿200余处。但是，国家级智能化示范煤矿都还是中级智能化水平，与全国4000余处煤矿的体量相比，当前智能化煤矿的建设水平还较低、数量还较少。而且，我国煤矿地域分布广泛，地质条件差异大，煤矿智能化建设亟需往更深层次发展。当前煤矿智能化建设实质可以认为是1.0阶段，主要是以信息化为基础，通过引入自动化设备和系统，实现了固定岗位的有人巡视、无人值守，一定程度上实现了生产过程的自动化和信息化，降低了工人的劳动强度。但是还存在明显的问题和局限性，煤矿智能化建设的具体挑战体现在以下3个方面。

(1) 建设进展不平衡

不同区域、不同企业的煤矿智能化建设进展不一，地质条件好、煤炭资源丰富的地区在技术和管理方面已经取得了显著进展，而其他地区仍处于初级阶段；大型煤矿企业在资金和技术储备上具有优势，已经较快地推进智能化建设，而中小型煤矿企业智能化建设进展则比较缓慢。

(2) 常态化运行水平较低

一方面,煤矿智能化顶层设计及科学的管理架构与智能化煤矿的常态化运行要求还存在差距,而且不同地区或企业的智能化建设标准、管理方式存在差异;另一方面,煤矿智能化的关键技术与装备可靠性仍然与现场要求存在差距,智能化设备现场故障率高、维护成本高的问题突出。

(3) 人才保障与政策监管体系尚需完善

煤矿智能化建设需要大量具备信息技术、自动化、人工智能等专业知识的复合型人才,而大量煤矿甚至技术单位现有的人才储备无法满足煤矿智能化建设的需求。此外,煤矿企业内部缺乏系统的智能化技术培训体系,员工技能提升跟不上技术发展的速度也是造成人才不足的问题之一。

政策方面则主要是不同层级政府、不同地区、企业的煤矿智能化建设标准不统一,政策激励也还需进一步加强。此外,智能化建设过程中的监管和评估机制不完善,导致建设质量和效果参差不齐,数据安全等方面的考虑较少。

上述问题虽是当前我国煤矿智能化建设面临的严峻挑战,但也为推动煤矿智能化往高级水平发展提供了重要机遇。具体体现在以下3个方面。

(1) 政策机遇

2020年2月,国家八部委下发了《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》。2024年4月,国家七部委又下发了《关于深入推进矿山智能化建设促进矿山安全发展的指导意见》。4年来,政府已经充分认识到煤矿智能化建设的重要性,并出台了一系列支持政策,正在加快制定和推广煤矿智能化建设的标准及规范,确保智能化技术在煤矿领域的有效应用和推广。

(2) 市场机遇

我国煤矿数量庞大,煤炭作为主要能源之一,其智能化建设市场空间巨大。智能化示范煤矿的建设和推广将带动整个煤炭产业链的升级。同时,随着我国煤矿智能化技术的发展和成熟,国内企业可以开拓国际市场,将先进的智能化技术和装备出口

到“一带一路”沿线煤炭生产国家。

(3) 技术机遇

当前正值人工智能技术发展的浪潮,大数据技术、大模型技术的发展使煤矿智能化系统能够更好地理解和处理复杂的生产环境,提高决策的准确性和实时性;物联网和5G技术为煤矿智能化建设提供了高速、可靠的通信保障,促进了设备之间的互联互通和数据的实时传输。此外,国家和企业加大了对煤矿智能化技术和装备的研发投入,提高了自主创新能力,通过技术创新和优化,煤矿智能化设备的稳定性和可靠性不断提高。

整体而言,我国煤矿智能化建设迎来了重要的战略机遇期,在政策支持和引导下,庞大的市场需求和先进技术的发展为煤矿智能化建设提供了强有力的支撑。在煤矿智能化建设中发展新质生产力,将推动煤矿企业在生产效率、安全管理、资源利用和环保等方面实现全方位的提升,为煤炭产业的转型升级和可持续发展注入新的动力。

煤矿智能化建设中的新质生产力内涵

生产力是指人类改造自然的能力,由劳动者、劳动资料和劳动对象3个要素组成。新质生产力是一种先进生产力质态,其基本内涵为劳动者、劳动资料、劳动对象及其组合的跃迁。新质生产力的概念源于对传统生产力发展模式的反思和超越。对煤炭而言,发展新质生产力意味着从依赖资源消耗和环境破坏的传统生产方式,向依靠科技创新和高效能源利用的现代化生产方式转变。因此,煤矿智能化建设中新质生产力的内涵如图4所示。以人为本、技术创新为核心,针对煤矿具体场景实现煤矿工人、采掘装备与煤炭的跃迁。全面提升煤炭工人的保障水平与知识水平,通过基础教育和技能培训,建立知识化与专业化的从业人员队伍;智能化、无人化的采掘装备为煤矿智能化建设中主要的劳动资料;劳动对象从单一的煤炭跃迁为数据、可再生能源等更广范围的形式,从煤炭生产到数据生产,将煤矿

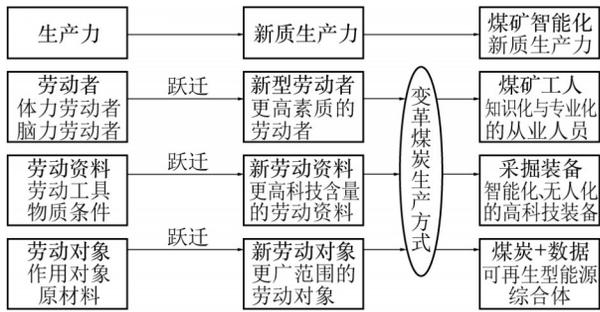


图4 煤矿智能化建设中新质生产力内涵示意

建设成可持续的可再生型能源综合体，实现生产关系深度变革。

煤矿智能化建设发展新质生产力的路径

劳动三要素的跃迁与优化组合

煤矿生产场景中，劳动者主要指煤矿工人与管理人员。为达到新质生产力的发展要求，工人与管理人员需要掌握更高的技术和知识，成为高技术、高知识、高素质人才。例如，需要掌握操作智能化装备、数据分析工具以及安全管理系统的技能，具有创新意识和能力，以适应不断变化的技术和市场需求，深度参与煤矿技术改进和流程优化的过程。

劳动资料利用自动化采掘装备、无人驾驶运输车辆和智能传感器等无人化、智能化设备，并具有数据再制造功能，实现煤矿劳动资料全生命周期的监管，以提高生产效率、降低事故风险，并减轻矿工的劳动强度。劳动资料的数据制造是高级智能化的关键，通过数据采集、数据过滤、数据分析与数据协同处理，优化生产过程、预测设备故障并改善资源利用效率，实现煤矿全流程智能化管理。

煤炭作为煤矿生产场景的主要劳动对象，在劳动者和劳动资料跃迁的基础上，智能化煤矿还需将数字技术融入到煤炭资源的开发、加工、利用等全产业链，全面提升煤炭的管理治理水平和综合利用效率，以数据作为重要的劳动对象，建立实时透明的煤矿采运、洗选、治理等数据链条，不断优化智慧决策模型，建设现代化煤炭经济体系。此外，除

了煤炭生产外，还可以充分利用煤矿空间地理优势，发展煤基综合能源基地，实现可再生型能源发展；利用煤矿地面空间、塌陷区等发展风、光电站；利用井下空间开发化学储能、二氧化碳封存、地热能、抽水蓄能等绿色能源技术；还可进一步利用矿井空间发展深地空间下的现代农业、现代医疗、深地空间文旅等，深度变革现有煤矿的生产关系。

业务流程转变为数据流程

全方位拓宽数据的生产和分析，对于在煤矿智能化建设中发展新质生产力至关重要。煤炭科学研究总院有限公司智能矿山研究院提出的基于1个综合基础平台、3项能流平衡、6大业务流程、10个智能化场景的智能化煤矿建设2.0（图5），着重突出数据的核心作用，将煤矿传统的业务流程转变为数据流程。综合基础平台融合了地质、网络、通信、数据模型、专家系统，太阳石大模型、边缘计算、分布式集中控制；能流平衡是指采用污水处理、余热利用、新能源发电等技术，实现全矿井供电、供水、供热平衡，矿区零碳排放；业务流程包含煤流智能管控、风流智能管控、水流智能管控、车流智能管控、人流智能管控；智能化场景包括智能采煤、智能掘进、智能主运、智能供电、智能通风、智能排水、智能洗选、智能装车、智能驾驶及智能防护10个智能化典型应用场景。

煤矿智能化建设六大业务流程示意如图6所示。

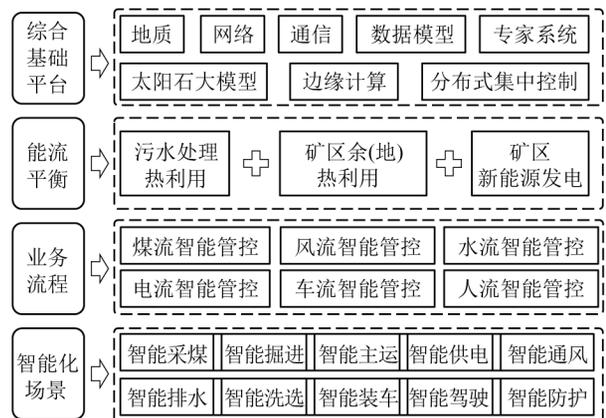


图5 智能化煤矿建设2.0架构

(1) 煤流的智能化建设将智能技术和绿色矿山开采技术深度融合，数据涵盖煤炭的开采、运输、加工等全过程，包括智能采煤控制系统、智能掘进控制系统、智能主运控制系统、智能洗选控制系统和智能装车控制系统。

(2) 风流的智能化建设基于先进的传感器技术和自动化控制系统，实时监测煤矿内部空气质量的各项指标数据，如氧气含量、有害气体浓度等，并将数据传输到控制中心进行分析，实现智能决策管控。

(3) 电流的智能化建设考虑煤矿复杂的环境，采用分布式供电系统，减少供电距离，降低线路损耗。并引入智能配电网技术，实时监测和调控电力负荷数据，实现动态供电优化。

(4) 水流的智能化建设以智能化、节能化和环保化为方向，采用先进的智能监测设备和污水处理技术，保证供排水系统安全、稳定、智能，同时提高水流系统的运行效率，降低能耗和减少对环境的污染。

(5) 车流的智能化建设主要针对矿用无轨胶轮车的智能化管理，采用车辆精确定位系统、三维巷道模型、智能调配与车辆自动驾驶技术，建立智能化车辆管控系统，根据车辆位置、行驶方向、区间

占用等信息数据实现车辆调控、无人驾驶等，保障运输安全。

(6) 人流的智能化建设针对井上井下人员流动的智能化管控，由智能化穿戴设备、人员精确定位系统、危险场所与设备的接近防护系统组成，实时采集人员各项指标数据，依靠智能决策分析，实现人员的保护和管理。

通过数据流的形式将煤炭生产业务与数据制造、数据管理、数据分析和数据生产结合起来，形成煤矿智能化建设中发展新质生产力的关键，进一步促进煤矿智能化向更高阶段发展。

零碳智慧矿区建设

绿色发展是高质量发展的底色，新质生产力本身就是绿色生产力，绿色化是新一轮科技革命和产业变革的重要趋势。在煤矿智能化建设中发展新质生产力的重要目的就是要改变传统煤炭生产过程中高投入、高消耗、高污染、低效益的粗放模式，实现煤炭资源节约、环境友好的发展。因此，零碳智慧矿区建设是发展新质生产力的又一重要路径。零碳智慧矿区以数据中心为核心，打造一个数字化、智能化的煤矿产业基地，通过智能化设备和系统，实现高效、智能的能源管理和生产运营。综合应用

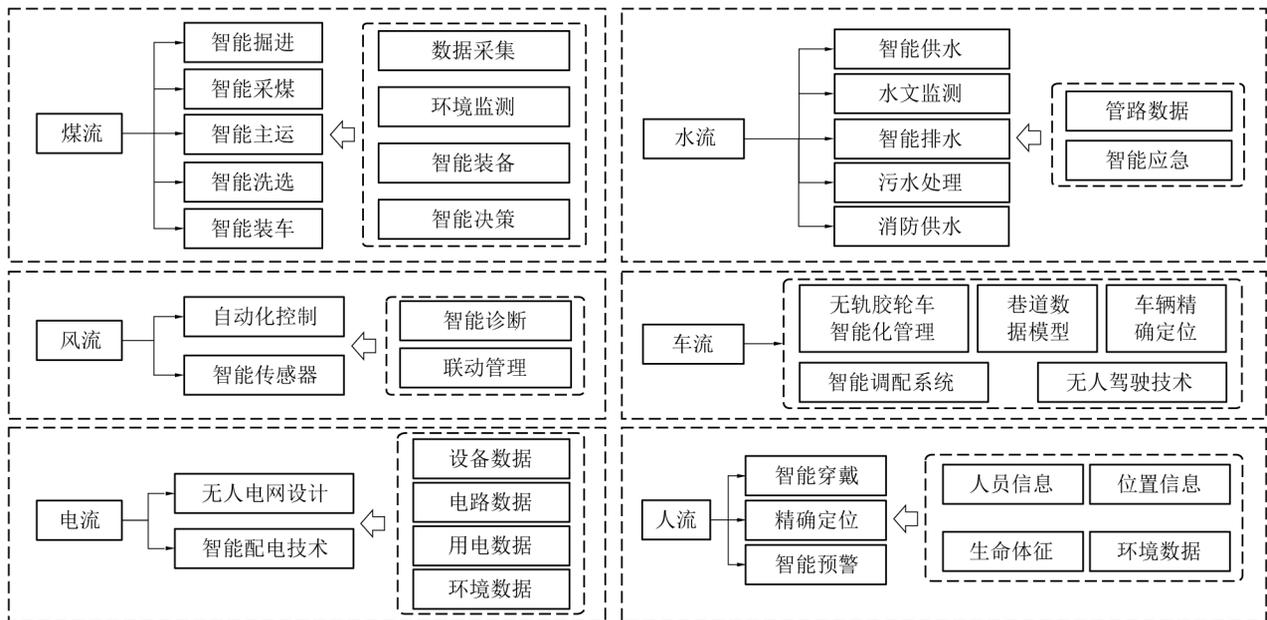


图6 煤矿智能化建设六大业务流程示意

物联网、大数据、云计算、人工智能、清洁能源、绿色微电网等前沿技术，整合利用当地资源，优化资源配置，实现煤炭生产的可持续发展。同时，依靠智慧矿区建设实现实时监测、智能预警和应急响应，提高煤矿安全水平，降低事故发生概率；依靠智慧化的生活生产设施，提高煤矿员工生活质量和幸福感，吸引高素质人才，并带动周边地区经济发展。此外，开发利用矿区储量丰沛的可再生能源资源，尤其是风能、太阳能等清洁能源，建设绿色供电系统；并针对煤矿供热、采暖等需求，充分开发利用矿井乏风余热、空压机余热、矿井涌水余热和浴室洗浴废水余热等工业余热利用，积极使用绿色能源车辆，实现智慧矿区的零碳排放。智慧矿区多能体系示意如图7所示。

新型生产关系构建

发展新质生产力必须要形成与之相适应的新型生产关系。对于煤矿智能化建设而言，构建新型煤炭生产关系，实现煤炭产业深度转型升级，是催生新质生产力的重要路径。传统的煤炭生产关系是人将煤炭采掘出后作为原料使用，新型煤炭生产关系则是人、数据和煤炭形成三元体系。人通过对数据的操作实现煤炭的生产和加工利用，并增加更多的附加值；同时，煤炭生产和加工利用过程中生成更多的数据反馈给操作的人。新型煤炭生产关系以数据为驱动，以人的解放和全面发展为核心，通过煤矿生产三要素跃迁与数据通道构建，搭建人与煤炭间的数据桥梁，实现人与煤到人与数据的转变，并

通过发展多能互补的清洁能源系统，将煤矿区建设成为地面与井下一体化的风、光、电、热、煤多元协同的综合能源基地，全面拓宽煤炭产业链条，实现可再生能源与煤炭的协同发展，建立安全、智能、可持续的煤炭生产关系。

结 语

煤矿智能化是煤炭工业高质量发展的核心技术支撑，当前我国煤矿智能化建设已经进入关键时期，发展新质生产力成为推进煤矿智能化快速发展的重要动力，对于进一步提升煤矿安全水平、生产效率和转变煤炭生产关系具有重要意义。煤矿智能化建设中发展新质生产力的路径包括生产力三要素的升级跃迁、数据煤矿构建、智慧矿区建设与新型煤炭生产关系构建等。此外，煤矿智能化不仅是设备和基础设施的智能化，还包括煤炭行业健全的政策支持和完善的智能化标准体系，煤矿数据的深度挖掘和利用以及建设以数据为核心的煤矿全生命周期的零碳智慧矿区，通过智能化设备和系统实现煤炭生产系统高效智能的能源管理和生产运营。进一步利用矿区丰富的可再生能源资源，构建风、光、电、热、气多能互补的清洁能源系统，实现绿色低碳转型。

基金项目：天地科技股份有限公司科技创新创业资金专项资助项目（2022-3-TD-ZD001）

■ 责任编辑：李金松

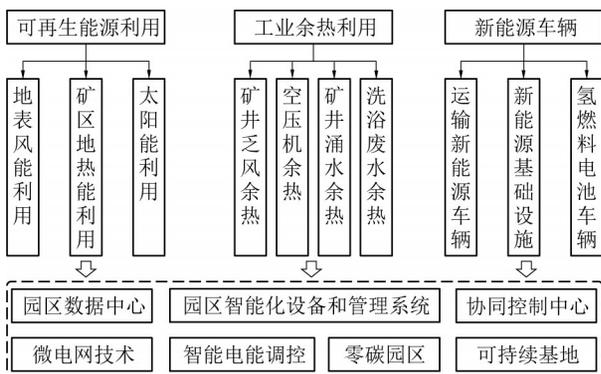


图7 智慧矿区多能体系示意

作者简介：

第一作者：王海军，博士，研究员，现任煤炭科学研究总院有限公司党委书记、执行董事、总经理。E-mail: 732443531@qq.com

通讯作者：黄万慧，博士，助理研究员，现任煤炭科学研究总院有限公司智能矿山研究院规划所副所长。

E-mail: huangwh17@tsinghua.org.cn

作者单位：煤炭科学研究总院有限公司；天地科技股份有限公司北京技术研究分公司