

我国露天煤矿智能化发展的十点反思与十项建议

王忠鑫 张建明 贺佑国 丁震 蔡峰 郭晓松 白怡明

截至2023年底，我国首批5座智能化示范露天煤矿已经全部通过验收，这是我国露天煤矿智能化发展的一个重要里程碑。智能化示范煤矿开展的大量探索和试验工作不仅验证了新一代信息技术在露天煤矿落地应用的可行性，产生了一定的减人、增安、提效和降重效果，而且为其他煤矿提供了可借鉴的成功经验和有效模式，但同时也有一些失败的教训。

为更加科学、有序和有效地开展下一阶段露天煤矿的智能化建设工作，结合国家能源局下发的《2024年能源工作指导意见》《关于进一步加快煤矿智能化建设促进煤炭高质量发展的通知》等指导性文件要求，对上一阶段的智能化建设经验进行系统总结和反思，并提出发展建议，以更快实现更大范围、更高水平地推进智能化煤矿建设的总体目标。

我国露天煤矿智能化发展现状

智能化投入

截至2023年底，我国共有露天煤矿约420处，其中千万吨级大型露天煤矿36处，智能化建设投入累计超过40亿元，预计至2025年，累计投入将超过70亿元。我国千万吨级以上露天煤矿智能化累计投入及预期投入统计结果如图1所示。

由图1可知，大部分露天煤矿的智能化建设投入强度和未来投入预期均较高，这表明露天矿智能化发展已基本形成了行业共识。但各露天煤矿之间表现出不平衡，部分露天煤矿的投入与其规模不匹

配，也表明仍有少部分露天煤矿对智能化建设的必要性和紧迫性认识不足。

我国5座首批智能化示范露天煤矿7个验收项的得分情况如图2所示。

由图2可知，5座智能示范煤矿在信息基础设施、矿山工程、管理与决策、智能化园区4个方面都达到了89分以上，建设效果相对较好，这表明以上4项被各智能示范煤矿作为为了智能化建设的主要内容。但是5座智能示范煤矿在矿山设计、智能穿爆、智能辅助等方面的得分均在80分以下。这一方面表明各矿以上3个方面的建设效果不佳；另一方面表明露天煤矿各系统的智能化建设水平不平衡，矿山设计、智能穿爆、智能辅助智能化等方面的短板比较明显。

造成这一现象的主要原因：从降低建设难度和提升展示效果的角度出发，各露天矿将信息基础设施建设、卡车无人驾驶、固定岗位无人值守、数据展示平台开发等作为上一阶段智能化建设的重点，而智能测绘、透明地质、智能设计、智能穿爆、设计生产一体化管控等分项，因技术难度大、见效周期长、联系生产紧密、管理要求高，各矿有针对性开展研发和试验的积极性不高、投入不足。

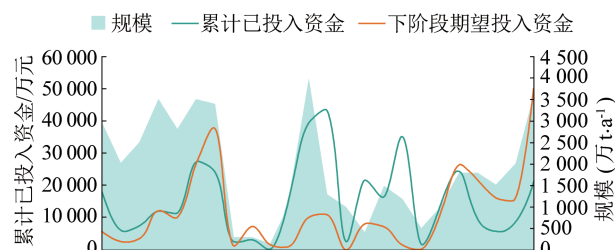


图1 我国千万吨级露天煤矿智能化累计投入及预期投入
(国内典型露天煤矿样本)

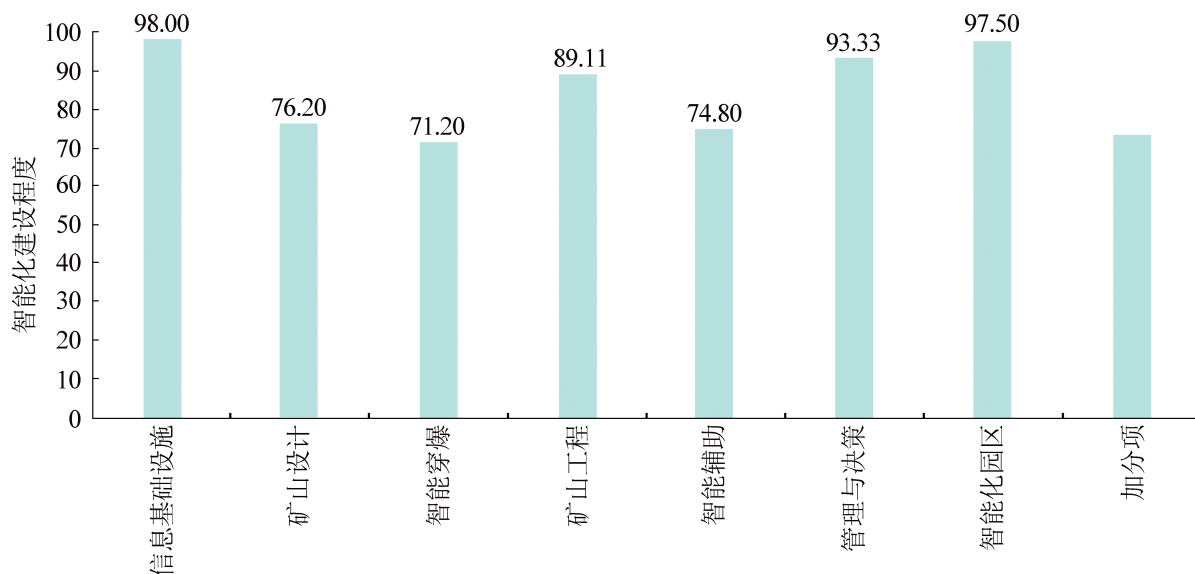


图2 国家首批智能化示范露天矿分项验收得分

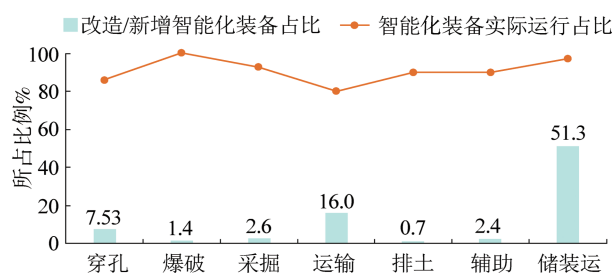


图3 我国露天煤矿智能化装备改造及其运行情况统计

智能化装备应用

在智能化装备应用方面，以露天煤矿穿、爆、采、运、排、储、装和辅助等环节为统计分类依据，我国大型露天煤矿智能化装备改造及其运行情况分析结果如图3所示。由图3可知，我国露天煤矿储装和运输环节设备的智能化改造力度较大，其中储、装、运设备占比最高，为51.3%；而穿孔、爆破、采装、排土和辅助作业环节的智能设备占比较低，即露天矿采剥作业智能化程度较低，智能设备平均占比仅为3%。据统计，截至2023年末，我国露天煤矿运行的无人驾驶卡车数量已超过700台，具备无人巡检和在线监测等智能化功能的带式输送机约200条，远程操控采装设备超过了80台套。

此外，由图3也可看出，穿孔、采掘、运输和排土环节的智能化装备实际运行时间占比均未达到

100%，表明这几个环节的智能化系统尚不具备常态化运行的条件，涉及的智能化技术和工程技术仍有待攻克。如穿孔环节的钻机定位精度、测孔和护孔功能尚需技术突破和功能完善，挖掘机远程操控技术仍然面临视觉疲劳、周围环境感知不精准、安全风险较高、效率较低等问题。

智能化人才配置

在智能化人才配置方面，我国典型露天煤矿智能化运维人员配置情况如图4所示。

由图4可知，各露天煤矿多以转岗形式配置智能化专职管理人员，新引进专业化人才的占比非常低，这对于露天矿智能化建设工作本身是非常不利的，应引起各企业的高度重视。

综上所述，我国露天煤矿在智能化建设方面的积极性总体很高，未来的预期投入也很大，现阶段已经取得了较为显著的成效。但是，各矿之间的投入强度和推进速度不平衡，透明地质、智能设计等技术难度大、见效周期长、管理要求高的建设项探索力度不够，采剥作业链高效协同运行的关键技术需要持续攻关和技术突破，智能化系统覆盖率低，矿山智能化的人力资源配置普遍不足，以上问题亟待在下一阶段的智能化建设工作中予以解决。

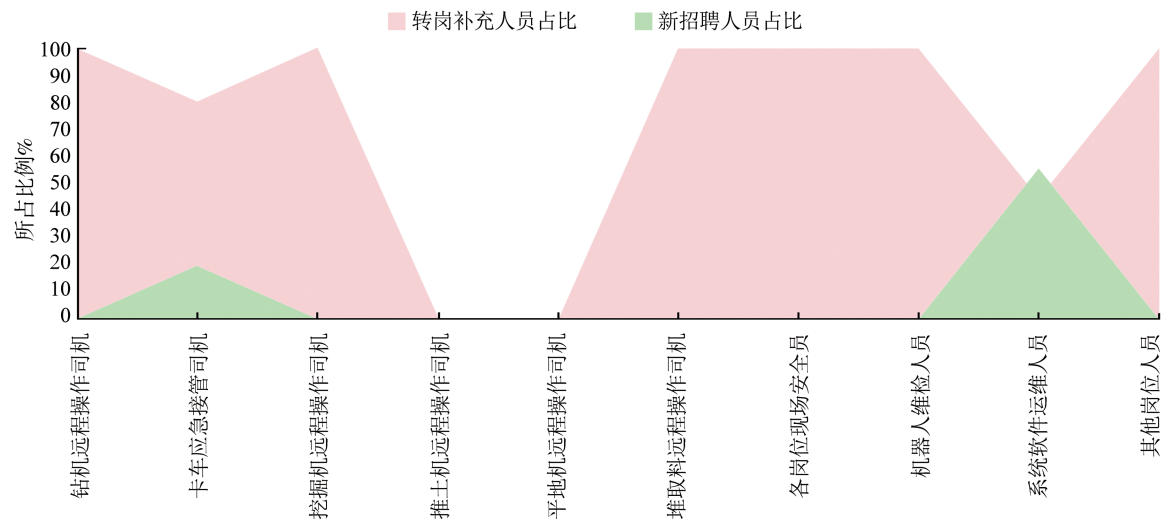


图4 我国露天煤矿智能化运维人员配置

我国露天煤矿智能化发展的十点反思

对智能化建设的必然性依然认识不足

部分露天煤矿企业对智能化建设的紧迫性和重要性仍然认识不足，主要体现在对智能化建设的理解不准确、必要性认识不清、必然性认识不足、传统思维尚未转变等。这导致在智能化建设过程中，煤矿企业缺乏清晰的目标和持续的动力，甚至将“通过验收”作为智能化建设的核心目标，而很少触及和探索智能设计、透明地质、智能调度、智能装备等行业共性难题的解决方案，影响了智能化建设的整体效果。露天煤矿的智能化建设既是减少坑下人数、保障安全生产、改善工作环境、降低劳动强度、提高运行效率的有效途径，也是矿山企业应对人口年龄结构变化、从业者多元诉求、企业价值提升的必然选择。

现行《验收管理办法》的引领性作用有待加强

(1) 首先，现行的《智能化煤矿验收管理办法(试行)》(简称《验收管理办法》)虽然明确指出了煤矿智能化发展的重要性，但对于露天煤矿智能化发展的具体目标、路径和措施等方面的指导还不够具体，特别是在引领智能化发展方向方面的作用还不强，使得在智能化建设推进过程中重点不突出，

存在路径依赖，难以形成有效的合力。

(2) 其次，关于露天煤矿智能化建设的技术标准、设备选型、系统集成等具体要求不够详细，如缺乏智能化装备主要性能指标的量化、监测的具体指标、预警的精度要求等，容易导致智能化验收仅解决了“有没有”的问题，但对“好不好”的问题评价不足。

(3) 此外，现行《验收管理办法》缺乏科学的智能化露天煤矿分类建设标准，我国露天煤矿分布区域的环境差异较大、开采条件各异、煤质差别明显、商品煤售价差别数倍、运行管理模式多样，如新疆戈壁滩、青藏高海拔地区的露天煤矿应全面建设少人/无人化矿山，边坡工程地质和水文地质条件复杂的露天煤矿应全面建设灾害智能预警的智能矿山，具备采用连续开采工艺条件的露天煤矿应替代单斗-卡车工艺实现以电代油、连续运输、全面无人的目标，生产规模较小、原煤无需分级洗选、地面生产系统简单的露天矿，辅助工程的智能化要求应注重全面提高运行效率和系统稳定等。因此，需要以露天煤矿的不同建设条件、各类项目建设的必要性、难易程度等为分类依据，建立科学的露天矿智能化建设分类评价指标体系和评价标准。对于煤矿企业而言，在实际实施过程中难以科学确定建设标准。因此，亟需对《验收管理办法》进行修订和细化，统一建设目标、总体架构、建设标准和实施

路径，既立足当下符合现阶段的实际需求，又兼顾长远对技术发展发挥导向作用。

部分环节的智能化建设实施路径仍不清晰

矿山智能化不是数据、技术、算法、信息基础设施与矿山场景的机械式组合，而是建立在具有对底层逻辑、业务流程、数理关系的深刻理解和清晰刻画的基础之上。关于智能化建设的实施路径，目前尚有很多需要进一步探索和验证的问题，例如：钻机、挖掘机、推土机等移动设备实现远程操控是否是合理的智能化目标？无人驾驶卡车运输系统与工程设计之间的关系如何？如何实现日计划、周计划、月计划等短期计划与中长期计划的优化、自动下发、精准执行和动态管理？如何确定供水、排水、供电、消防、治尘、交通等辅助系统的智能化分级建设目标和运行场景？设备智能管理与维修中心的智能化分级建设目标与解决方案是什么等诸多问题仍然需要进行持续的方案优化、技术攻关、试验验证、产品迭代和工程示范，否则露天煤矿的智能化目标难以实现。

智能化系统及装备的数量占比低，全矿覆盖率不足

露天煤矿设备类型多、数量大、工作面分散等特殊性质，导致目前我国露天煤矿普遍存在智能化系统和装备在露天煤矿系统和装备总数中的占比较低的问题，进而造成了智能化系统运行与否对露天煤矿的整体生产经营影响不大的局面，影响甚至制约了露天煤矿智能化发展的进程。例如：某露天煤矿采煤及剥离卡车共约500台，无人驾驶卡车仅有10台，占比不足2%，那么无人驾驶卡车的运行效果好坏对全矿的生产影响微乎其微，因此对如何提升无人驾驶运输系统效率的问题也就显得没有那么重要了；某露天矿共有30条总长度约20 km的带式输送机，其中仅1条长度不足1 km的带式输送机进行了智能化改造；还有些煤矿企业仅将无人驾驶远程监管平台中的车辆调度功能作为矿山的生产调度系统以通过智能化验收，实则仅对十几台无人驾驶卡车

的运行进行调度，其他设备均未融入一体化生产调度指挥系统。因此，必须加大智能化系统和装备在全矿的数量占比，尽可能实现100%全覆盖，方可使矿山企业与产业链上下游企业深度合作，以更大的投入和更快的速度研究提升智能系统装备的常态化运行效能的问题。

对采装、运输等主要工序的智能化装备研发和关键技术攻关不足

采装、运输工序是整个露天煤矿智能化建设中少人无人的关键工序，但从国内露天煤矿整体智能化建设现状来看，对挖机和无人矿用卡车的改造占比极低，主要原因包括相应装备智能化研发不足和关键技术尚未攻关，如电铲设备安全保障技术有待提升，由于其本身工作环境恶劣，粉尘、噪声和震动等干扰因素导致其环境感知能力变弱，操控司机疲劳感增加，安全隐患增加，生产效率低下；无人驾驶地图实时更新技术有待突破，复杂路网工况和恶劣条件下障碍物识别技术需要优化，这些都会导致无人驾驶卡车作业安全性差、适应性差、运输效率低、安全隐患大的问题；车铲协同技术攻关不足包括设备对复杂环境适应性差、容错能力弱、装运卸全域分段容量实时预测难度大、云端集群调度管理平台稳定性及数据处理能力差等问题。

对建设完成后的全面常态化运行缺少监管

在矿山智能化建设初期，技术产品在功能、性能和可靠性等方面往往存在一些待完善的问题，所以部分露天煤矿在完成智能化建设并通过验收后，往往不再坚持应用和改进，而是束之高阁。这种现象如果不加以改变，一方面将影响行业智能化发展的方向和整体进程，另一方面也不利于智能化技术的进步，对产品迭代和技术提升的负面影响巨大。因此，需要建立科学完善的监管机制和标准，对智能化系统建设完成后的全面常态化运行进行监管，确保露天煤矿智能化建设工作的实效性和持续性。

(半)连续开采工艺技术的创新应用不足

据统计,我国露天煤矿应用(半)连续开采工艺的数量不足70套,承担的采剥工程量占比不足10%,占比非常低,造成这一局面的原因是多方面的。根据未来我国露天煤矿开采条件的变化趋势,以及在安全、智能和低碳三重约束下,大力发展(半)连续开采工艺技术在露天煤矿中的应用势在必行。但是,我国露天煤矿的开采条件复杂,开采工艺技术和定制化成套装备的研发都面临着非常大的挑战,至今仍未对这些难题进行系统的研究和解决。特别是相关的工艺技术在国内外尚属空白,甚至仍沿用20世纪70—80年代在国外调研的经验数据作为技术设计的依据,而对基础理论和设计原理一直不清晰,设计过程中的装备选型配套和技术参数标定缺乏科学的理论,特别是缺少对系统适应性的评价和系统设计能力的计算方法,进而造成设计建设的多套(半)连续开采工艺系统长时间达不到所谓的“设计能力”,在国内逐渐形成了(半)连续开采工艺技术在国内外不适用、不可靠、不可行的论断,显然是不合适的。

设计及生产管理与智能化的需求严重脱节

露天煤矿智能化发展的核心是业务场景的全面数字化表达、常态化自主运行、生态化迭代运营。全面数字化表达是以海量数据建立各业务场景的数字模型,是数据驱动的基础;常态化自主运行是基于机理模型和算法实现对露天煤矿业务场景运行的拟人化智能驱动,最终实现对人的替代;生态化迭代运营是露天煤矿智能化建设的关键,指的是由满足既有的业务需求向发现和创造新的智能化场景需求转变,逐步建立矿山智能场景生态并不断迭代、协同进化,露天煤矿复杂巨系统最终演化为有机融合的智能场景“生态系统”。

因此,露天煤矿智能化发展不是技术逻辑,而是业务逻辑;不是软件思维,而是平台思维;不是点线颗粒度,而是场景颗粒度;不是系统维度,而是生态系统维度。目前我国露天煤矿的工程设计、

智能化规划设计及生产管理模式与上述的智能化发展底层逻辑、思维方式、系统单元划分和场景生态模式是不一致的,与智能化运行的需求是不匹配的,这也必然会对智能化系统的常态化运行造成束缚。

标准体系建设严重滞后

露天煤矿智能化标准的布局不完整、数量偏少、出处多元,导致严重滞后于行业发展需求。如有些单位为了抢抓标准制定的机遇,分别依托工信部、国家矿山安全监察局、行业协会/学会/联盟等进行标准编制和发布,但是不同出处的标准之间缺少有效协同和综合论证,甚至有些标准之间出现了重复或者冲突,如此一来,标准的执行也自然会面临一系列问题。再如企业标准、团体标准、行业标准、地方标准、国家标准之间缺乏有效衔接和协调统一,使得标准的适用范围、重点内容、实施细则等存在不一致、无层级、不具体、不完整、重复性内容多等问题。因此,亟需将智能矿山各层级、各类型的标准体系建设统一起来,按照目标导向进行标准体系的总体设计,加强企业和研发机构的协同合作,分级分类有序推进,避免形成智能化标准的“孤岛”或者“壁垒”。

企业专职机构和人力资源配置不合理

露天煤矿企业在智能化建设过程中,缺乏专门的组织机构来统筹规划、协调推进和监督实施智能化项目,导致智能化建设缺乏系统性、连续性和专业性,难以形成有效的工作机制和管理体系。智能化项目的推进往往依赖于临时组建的项目小组或者由非专业人员的兼职负责,这在很大程度上限制了智能化建设的深度和广度。矿山企业若想高质量推进智能化建设工作,需要配备大量的专业技术人才和专业管理人才,包括信息技术工程师、自动化工程师、数据分析人员、信息化项目管理人员、工程项目管理人员等。但目前露天煤矿企业在智能化人才培养和引进方面的投入力度不足,缺乏有效的激励机制。

我国露天煤矿智能化发展的十项建议

强化露天矿智能化运行基础管理

矿山企业应当建立健全专门的智能化矿山建设组织机构，建立并严格落实相关管理制度体系，如安全管理制度、维护保养制度、数据管理、制度操作规程等。制定完整的人员配置标准，包括智能化相关岗位的职责、技能要求、人员数量等，确保企业配备足够的专业人员，以支持智能化系统的运行和维护。按照要求编制符合企业实际需求的《总体规划》《实施方案》等顶层设计技术文件和图纸，组织专家论证和报送上级部门并严格按设计进行建设。扎实推进智能化系统常态化运行工作，对系统的管理、运行、应用进行持续的实操培训，建立内部高效的沟通协调机制，强化与外部科研院所和高校在技术支持及人才培养等方面的订单式长期合作模式，加强关于实现智能系统常态化运行必要性和紧迫性的宣传引导，统一思想，凝聚共识。

修订《验收管理办法》以增强导向性和引领性

为更好地引导露天煤矿智能化发展，有必要根据首批智能示范煤矿的建设和运行经验，并结合相关技术的发展现状和趋势，对现行的国家能源局发布的《智能化示范煤矿验收管理办法（试行）》进行修订，细化验收标准中的功能性、技术性和常态化运行指标要求，以定量为主、定性为辅。指标的设置一方面要强化《验收管理办法》在行业智能化发展路径方面的导向作用，另一方面还要强化其在科技创新、技术升级、产品迭代、产业链融合等方面的引领作用。此外，建议以《验收管理办法》为基准统一规范国内各省市（地区）发布的验收标准，以实现国家标准和地方标准在建设要求和验收内容等方面的有效衔接和一体化贯通。考虑各地区露天煤矿开发条件的差异，地方标准确定的指标值可适当高于国家标准。

加快构建智能化露天煤矿的建设运行范式

露天煤矿的建设运行范式是指工程实施全过程的一般性方法，包括建设模式和运行管理模式2部分。当前，尚未形成面向全行业的露天煤矿建设运行范式，应重点研究解决以下问题：①确定不同类型露天煤矿智能化建设的目标、路径、方法和科学完备的解决方案；②进一步丰富拓展露天煤矿的智能化场景，开展智能化场景生态基础理论研究，包括其理论框架、核心任务、评价体系、分析方法与工具、实施策略等；③开展大型智能化露天煤矿组织管理模式研究，包括组织架构重构和业务流程优化，构建露天煤矿智能化业务流程体系，提出实现流程要素数字化、流程流转数智化、流程管理数治化的普适性实施路径。

提高科技创新支撑能力及智能化技术和装备成熟度

提升科技创新对露天煤矿智能化发展的支撑能力是科技创新赋能矿山智能化发展的重要特征。科技创新也是提升智能装备和智能系统在露天煤矿的覆盖率的重要手段之一。当前，露天开采很多重要领域的底层技术对外依赖度高，基础理论、材料、工艺、设备和器件等技术积累不够，需要集智进行关键核心技术攻坚，破解“卡脖子”难题。

（1）推动创新链、产业链、资金链、人才链深度融合，构建良好的科技创新生态，提升协同创新能力。

（2）强化露天煤矿智能化发展的科技支撑体系建设，积极争取将相关科研项目纳入国家重大科技专项、重点研发计划、中央科技计划等，对露天煤矿智能化技术及重大装备研发给予支持，加快关键核心技术的突破和创新产品的应用。

（3）加强露天智能开采工艺基础理论、关键技术和新型成套装备的研究，组织建设重大科技成果集成示范基地。

（4）不断改革完善知识产权保护体系，强化智能化技术的知识产权保护。

（5）加快研究推进建设露天煤矿领域全国重点

实验室。通过不断提升科技创新能力，赋能关键技术攻关和装备研发，形成更多能够成熟应用的智能化技术和智能化装备，让煤矿企业有信心大力推广并实现100%覆盖应用。

重点攻关主要工序智能化装备和关键技术研发

目前，露天煤矿各工序环节的智能化建设水平不一，尤其以采装、运输工序的挖掘机和运输矿用卡车智能化为主，除了涉及挖掘机和卡车本身智能化升级外，还应关注多机协同工作时的协同管控机制和网络保障等关键技术。首先在挖掘方面，应重点攻关挖掘机远程操控相关关键技术，包括数据采集和传输技术、远程操控技术、全环境感知技术等；在运输矿用卡车方面，应重点攻关装运卸全段区域随着工作面推进的地图实时更新技术、矿用卡车全环境感知技术、障碍物精准识别技术、运输速度优化提升技术等；在网络保障方面，应重点攻关随开采工作面推进的5G网络连续覆盖和基站自适应迁移技术、多频组网及信号增强技术、大容量高速率数据传输技术等；在采掘运输工序协同方面，应重点攻关无人驾驶卡车装运卸区域工作点的快速定位技术、V-N的协同作业规则、装运卸全段区域的道路拥塞管控技术、集群调度优化技术等。

强化对智能化建设系统常态化运行的监管

智能装备和智能系统在露天煤矿的覆盖率（占比）高低对智能化建设的效果影响较大，如果覆盖率太低，既难以受到矿山企业的重视，又无法形成完整的智能应用场景，智能化建设和运行的效果也难以达到预期。因此非常有必要建立和完善智能化露天矿的监管体系，将智能化系统的常态化运行作为重要监管内容纳入日常监管，以确保智能化建设技术成果和产品能够得到持续的试验、改进和技术迭代，进而形成技术和产品升级的良性循环。

加大对（半）连续开采工艺技术创新和示范应用的支持力度

大力发展（半）连续开采工艺是露天煤矿实现

安全、绿色、高效、无人化开采的必由之路，但我国在露天煤矿（半）连续开采工艺技术、成套装备、工程技术试验等方面开展的研发和试验工作较少，产学研用一体化的联合创新模式尚未建立，整体进展较为缓慢，这与当前和今后一段时期内国家和行业的迫切需求是不相符的。建议相关部门对该方向的基础研究、关键共性技术研发给予大力支持；加大对科技人才和创新团队的支持力度，鼓励企业充分发挥在技术创新中的主体作用，促进产学研用的紧密结合。积极支持露天煤矿（半）连续开采工艺相关的技术装备研发、标准制定和推广。针对露天煤矿（半）连续开采关键共性技术，积极协调引进国外先进技术，加快相关技术的消化吸收再创新，加大（半）连续开采技术成果转化力度，加快实现技术成果的商业化和产业化。完善政策保障措施，鼓励企业研发和推广应用（半）连续开采工艺技术，制定相关财税优惠政策，加大对新技术研发和示范应用企业在财政贴息、企业所得税、增值税、金融等方面的政策优惠力度。

加快解决露天矿工程设计与智能化运行需求不匹配的问题

露天煤矿智能化建设的实质是工程智能化。露天煤矿的部分智能化系统无法常态化运行和运行效率偏低的问题，除了相关技术尚不成熟外，很大的原因是矿山的设计与智能化运行的需求不匹配。露天煤矿工程设计产品应是伴随露天矿全生命周期，服务于矿山建设、生产运营管理和闭坑后转型发展的最底层信息模型，而非一本设计说明书和几套图纸。智能露天矿工程设计是根据建设工程的要求，对建设工程所需的技术、经济、资源、环境等条件进行综合分析、论证，编制建设工程设计文件的活动，是人们运用科技知识和方法，有目标地创造工程产品构思和规划的过程，几乎涉及到人类活动的全部领域。因此，建议露天矿山系统地开展面向智能化露天矿运行场景需求的矿山设计工作，对矿山设计理念、内容、颗粒度、方法、手段、产品等做

出深刻调整与改变。

设计成果须回答3个基本问题：①设计的主导思想是什么，即设计理念问题；②对哪些方面做出构思和规划设计，即设计要素问题；③工程设计产品的构思和规划如何表达，即设计成果的呈现和交付方式问题。

加快推进露天矿智能化标准体系的建设

建立健全煤矿智能化标准体系工作机制，组织煤炭行业标准化管理机构、标委会等统筹推进有关标准制修订，构建完善的露天矿智能化标准体系，包括基础标准、技术标准、管理标准、安全标准、信息标准等。研究推进煤矿智能化国家标准、行业标准、地方标准、团体标准、企业标准的制修订，逐步形成智能化标准制修订、咨询服务和执行监督的闭环管理体系。组织煤炭行业相关企业、科研机构等加快煤矿智能化技术协同创新，推动重要科技成果转化应用。结合煤矿智能化示范项目建设，确保相关标准的贯彻实施，加大煤矿智能化相关技术标准的培训力度，丰富培训方式和手段。

建立系统的智能化人才培养体系

我国露天煤矿的智能化发展对专业人才的需求日益旺盛，但目前人才培养和供给仍不能满足实际需要，亟待建立系统的人才培养体系。

(1) 高效加快数字化和人工智能相关学科的建设，科学设立多学科交叉融合的课程体系，推动基础教育、专业教育、职业教育的融合发展，以适应生产企业的需要。

(2) 企业积极开展业务能力提升行动，开展职工在岗技能提升和转岗转业培训，鼓励市场化、专业化培训机构依据需求提供灵活性的培训服务。

(3) 健全科学的矿山智能化技术和管理人才的职业分类、能力评价体系、人才能力素质标准，构建国家职业资格体系和专业技能等级体系，促进人力资源合理流动和高效配置。

(4) 建立创新人才的评价机制，针对不同专业、

不同层次的技术人才制定不同的、可操作的评价标准。

(5) 深化国际交流，在技术、标准、人才引进和培养等领域开展合作，围绕智能化技术发展前沿，不拘一格集聚高层次人才。

结 语

露天煤矿的智能化建设是一项复杂的系统工程，也是一次深刻的系统性变革，初期进行示范性的探索和试验是科学的发展模式。我国露天煤矿分布区域广、开采条件各异、信息化水平参差不齐、市场环境区域性差异大、运营管理模式多样、经济效益状况差异显著，难以形成“普适性解决方案”，必须坚持“因矿施策、一矿一策”的原则，特别是要结合矿山基础条件和资金承受能力等因素制定总体方案。必须面对矿山真正具备“智慧”能力依旧遥远的现实，也应承认初级和中级智能化同样拥有价值，需要正确认识和理性对待。

5座首批国家智能化示范露天煤矿的探索、实践和创新，初步打通了从理念到实践的实施路径，取得了关键性进展，为行业发展做出了重要贡献。但是也要认识到仍面临很多问题和挑战亟待解决，需要不断总结经验、反思问题、持续探索、强化创新，确保智能化建设的实效。展望未来，我国露天煤矿的智能化发展必将继续深入，智能化建设的投入产出将更加科学合理，在矿山减人、增安、提效、降重的成效将不断得到强化和显性化。

基金项目：沈阳市中青年科技创新人才支持计划资助项目（RC220436）

■ 责任编辑：李金松

作者简介：

第一作者：王忠鑫，正高级工程师，现任中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司总经理，主要从事煤炭露天开采理论、装备研发及智能化技术研究工作。

E-mail: wzx_syy@qq.com

作者单位：中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司