

无人化开采从梦想到现实——

数智技术创新赋能超级矿山

文/张

矿业是人类社会繁荣发展不可或缺的基础产业。从石器时代到工业革命，再到信息时代，每一次文明的跃升都离不开矿产资源的支撑。正如英国地质学家查尔斯·莱尔所言：“人类的历史，就是一部矿产资源的开发史。”

然而，现代矿业开发面临各种复杂科学技术难题和自然环境的挑战，正所谓“登天容易，入地难”，随着浅层资源逐步枯竭，深地、深海、复杂地质条件开采成为必然选择。传统的粗放式矿山开发模式难以满足安全、高效和绿色的开发要求。在此背景下，数智

从经验驱动到数智驱动

中国矿产资源禀赋以深地资源为主，煤炭、金属矿产埋深超过1000米的占比达60%以上。例如，湖南万金矿田在2000米深度探获黄金资源量超300吨，新疆哈密发现10亿吨级铁矿，贵州探获6.5亿吨特大型磷矿，华东华北等地区1000米以深煤炭资源丰富。深地开发是资源保障的刚需，更是国家能源安全的核心战略。然而，深地开采面临高地应力、高温、高瓦斯、强突水等极端环境，传统开采技术无法满足深地资源安全、高效、绿色开采要求，急需技术创新支撑深地资源开发战略实施。

全球矿业正加速向“高端化、智能化和绿色化”转型。德国提出“矿业4.0”，澳大利亚推行“未来矿山计划”，美国加速矿业数字化和智能化发展，中国则将智慧矿山列为“十四五”重点工程，《能源技术革命创新行动计划（2016—2030年）》提出，到2030年实现煤炭智能化开采，重点煤矿区基本实现工作面无人化。其核心是通过5G、AI、数字孪生等技术，实现矿山全流程自动化运行、数据驱动决策和绿色高效安全生产。例如，陕煤黄陵一矿和国家能源神东榆家梁煤矿，通过智能化建设，实现工作面常态化无人开采，打造了全球无人化开采样板；新疆南露天煤矿和华能伊敏露天矿等全面实现矿卡无人驾驶全自动高效运行。

煤炭是中国主体能源和重要工业原料。自上世纪80年代以来，通过推进煤炭综合机械化，促进了行业的全面技术进步，实现生产力的巨大进步，安全生产面貌根本改变。目前，煤炭仍占我国一次能源生产量的67%和消费的56%，其清洁高效利用是新型能源体系建设的关键。中国工程院研究表明，通过超低排放技术，燃煤电厂污染物排放已低于天然气电厂；而智能绿色开采则让煤炭成为可清洁高效利用的“最安全、最经济”的能源选项。例如，山



在新疆准东宜化五彩湾一号矿控制室，工作人员对矿区车辆运输状态进行动态监管。
新华社发

能矿金鸡滩煤矿和陕煤小保当煤矿，通过智能化建设和数智技术的创新应用，不断突破超高采高、超长工作面、超高效率指标，引领世界煤炭开采技术发展。

实现理论与技术创新

煤矿智能化是涉及多系统、多层次、多专业、多领域相互匹配融合的复杂巨系统。我们团队多年来紧紧围绕煤矿数字化基础理论、煤炭无人化掘采运技术、深部煤矿装备智能化技术等3个方面，开展煤炭无人化开采基础理论和前沿工程技术研究。

在数字煤矿智慧逻辑模型与跨系统全时空信息感知原理方面，我们通过分析解构煤矿复杂巨系统，描述出煤矿数据层次、流向和关联关系，建立煤矿井下跨系统全时空感知体系总体框架。在此基础上，我们提出了信息实体之间交互、融合、联想、衍生机制和虚实映射机理和基于知识需求模型的信息实体主动匹配与推送策略；构建了基于开采行为预测推理的智慧逻辑模型进化机制，形成了智慧煤矿信息框架模型，为深层次推理智慧煤矿海量信息关联关系提供有效方法。

在智能开采设备群全局最优规划和分



作者王国法肖像画。

张武昌绘

布式协同控制方法方面，我们通过分析开采环境与生产系统耦合关系，建立综采装备群全位姿坐标变换及驱动关系模型，提出了开采设备群全局最优规划方法，将其归结为二次积分模型的最优解问题，给出了液压支架群组协同控制、同时考虑环境干扰和传感器数据时延特性的分布式协同控制方法，为实现煤矿数据的逻辑推理、智能决策和协同控制提供了基础理论和关键技术支撑。

在智能开采系统健康状态评价、寿命预测与维护决策机制方面，我们通过构建开采系统设备群健康状态辨识与评估模型库、建立煤机装备健康状态评估指标体系和健康状态评估方法，实现煤机健康状态高精度评估，提出了综采设备多工况下剩余寿命数据驱动预测方法，构建了考虑煤矿维护安全与维护成本的多目标决策优化模型，实现了设备生产计划和维护过程的优化决策，有效降低生产成本和停机率；通过煤矿数据感知原理、整体逻辑模型、智能控制方法和运维决策机制的研究，为整个煤矿智能化建设提供理论指导与技术落地支撑。

技术加快与矿山开发技术深度融合，正推动矿业从人工作业向无人化智能开采跨越，开启超级矿山的壮美图景。

笔者作为煤炭无人化开采数智技术全国重点实验室主任，不仅见证了中国在智慧矿山领域日新月异的技术变革，而且带领科研团队为推动矿业数智化进程作出了应有的贡献。多年来，我与团队成员致力于煤炭无人化开采理论和技术创新研究，建立了煤矿智能化技术体系架构并使其不断完善，取得了关键装备研发突破，实现了从跟跑到领跑的重大跨越，推动了智能化煤矿示范建设模式创新。

促进示范建设模式创新

2019年，笔者与业内专家一起提出《加快煤矿智能化发展的建议》，为国家有关方面提供决策参考。2020年2月，国家发展改革委等八部门联合发布《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》，提出了加快煤矿智能化发展的分阶段目标、任务和技术路径，推动全国煤矿智能建设进入快速发展阶段。

针对生产型煤矿智能化建设，面临子系统众多、架构不一致、协议不统一、数据不集中等难题，我们在陕煤集团张家塬煤矿率先开展生产型矿井全面智能化建设，以解决“统一全矿井信息感知、传输和控制”和“生产链一体化智能决策”两类问题为出发点，以统一智能管控系统为核心，以泛在网络和大数据云平台为手段，基于“全局优化、区域分级、多点协同”控制模式，形成了覆盖生产、生活、办公、服务各个环节的智慧、便捷、高效、保障的煤矿综合生态系统。

在延长矿业巴拉素煤矿实施新建煤矿智能化系统建设中，我们聚焦平台、数据和场景，创新提出新建矿井顶层架构与管控体系，建立以5G网络为核心的高速数据传输网，实现安全监控、人员及辅助运输高精位置服务、融合通信等多任务场景数据统一高速传输；研发煤矿采一掘一运生产链分布式协同控制系统，直接和多个生产执行子系统进行对接，实现上层软件平台对下层设备的垂直控制；研发采用高可靠性连续稳定采掘装备，建成千万吨级智能少人工作面、千米级智能快掘系统群，实现采掘平衡；开发了煤矿环境感知与安全管控“全一智一联”多灾害融合监控装置及系统，实现全矿井安全监测、超前预测和报警。

针对煤矿井下辅助作业环境复杂、防爆要求高、用人多、效率低、标准化程度低、安全风险高等问题，我们在陕煤集团柠条塔煤矿开展智能化煤矿机器人集群研发应用，研究辅助作业机器人定位导航、自主移机、智能感知、精准控制等关键共性问题，重点攻关井下辅助作业类机器人，集成应用成熟机器人装备，研发智能化煤矿综合管控与机器人协同调度的一体化平台，形成集群效应，推进全矿井、全环节、全过程的智能化运行。

重塑矿业文明范式

到过现代先进矿山的人往往被眼前的场景所震撼：地下机器自主运行，地面工作人员像写字楼里的白领一样工作着，采煤不见煤，地下煤炭等资源源源不断地通过封闭的运输系统输送到用户端……

现代绿色智慧矿山开发注重与生态环境协调发展，在采矿的同时进行生态保护和修复。矿业开发投入了大量资金，也产出了巨额财富，促进了资源地区的经济社会发展，大幅度增加了生态治理的投入能力，内蒙古鄂尔多斯和陕北榆林煤矿开发30多年来生态环境明显向好变化，把昔日的毛乌素沙漠变成了鸟语花香的绿洲，这是煤炭开发促进地区绿色发展的有力证明。

未来超级智慧矿山的愿景是，实现矿山全时空多源信息实时感知，安全风险双重预防闭环管控；全流程人一机一环一管数字互联高效协同运行，生产现场全自动化作业和无人化开采。矿山职工有更多获得感、幸福感，矿山企业能创造更大价值。

从上世纪80年代的综合机械化，到今天的无人化开采，中国矿业用40年走完了西方百年的技术历程。站在新起点上，数智技术正在重塑矿业文明范式。未来超级矿山将是数智技术驱动的“资源—能源—生态”智慧综合体，在这条征途上，无人化开采已从几代矿工的梦想变成现实，超级矿山的未来呈现出无比壮美的景象。

（作者王国法为中国工程院院士、煤炭无人化开采数智技术全国重点实验室主任、中国煤炭科工集团首席科学家、煤矿智能化工作委员会主任、煤矿智能化创新联盟理事长、中国自动化学会智慧矿山专业委员会主任，获国家科技进步奖一等奖1项、二等奖5项和三等奖1项）

科技名家笔谈

中国科协科学技术传播中心、陈嘉庚科学奖基金会与本报合作推出

中方坚持协同共治 推进人工智能全球治理

据新华社联合国电 中国常驻联合国代表傅聪近日在人工智能能力建设国际合作之友小组专题会议上表示，中国将继续坚持智能向善，推动人工智能发展和应用，增进人类共同福祉。坚持公平普惠，尊重和保障发展中国家享有平等发展和利用人工智能的权利。坚持协同共治，支持联合国发挥主渠道作用，推进人工智能全球治理。

傅聪说，去年联大协商一致通过中方主提的“加强人工智能能力建设国际合作”决议，中国宣布《人工智能能力建设普惠计划》，倡议成立“之友小组”，旨在推动国际社会共同把握数字化、智能化发展大势，建立广泛伙伴关系，采取务实有效行动，切实推进联大决议和全球数字契约后续落实，助力各国共享智能红利，不让任何一个国家掉队。

傅聪强调，在人工智能能力建设国际合作方面，中国既是倡导者，也是实践者。自“之友小组”成立以来，中方已经在北京、上海举办2期研讨班，邀请来自40多国180多位各界代表参加，交流人工智能技术最佳实践，讨论人工智能全球治理大计，取得积极成效。

武夷山国家公园发现3个新物种

本报福州电（记者钟自炜）记者近日从福建省农业科学院食用菌研究所获悉，该院联合江西农业大学共同在武夷山国家公园发现了3个大型真菌新物种，分别命名为近小灰瓣粉褶菌、近极细粉褶菌以及武夷山粉褶菌。相关研究成果已发表于国际真菌学期刊《菌物检索》。

它们均为粉褶菌属蓝色亚属下的物种。此类真菌子实体多为金钱菌状至脐菇状，表面常被绒毛或鳞片，菌褶菌髓细胞内常具明亮颗粒。“此次发现进一步提升了我国亚热带地区粉褶菌物种多样性的认知水平。”福建省农业科学院食用菌研究所所长曾辉表示，本研究使得以武夷山国家公园为模式产地发表的粉褶菌属新物种达到8种，为未来区域内大型真菌开发及保育提供了较好的理论支撑。

中国青年获欧洲专利局2025年“青年发明家奖”

据新华社柏林电（记者杜哲宇）总部设在德国慕尼黑的欧洲专利局近日公布2025年“青年发明家奖”全球十佳创新者（或团队）获奖名单，中国青年温柔嘉与其合作伙伴阿利莎·弗雷德里克松组成的团队获奖。

据欧洲专利局介绍，今年的10个获奖者（或团队）来自五大洲，在电子垃圾、稀土元素回收、航空、人工智能、纳米技术、碳捕获、食品安全和环境保护等领域提出创新性解决方案。其中，温柔嘉和弗雷德里克松联合创立一家名为Seabound的初创公司。该公司开发出一种可改装的碳捕捉系统，能够从船舶的废气中捕获二氧化碳，并将捕捉到的二氧化碳转化为固态石灰石储存，大幅简化了卸载和处理流程，并且其模块化系统设计便于在船上进行改装，为航运业提供了更加切实可行的减排方案。

其他获奖者（或团队）还包括：西班牙的皮拉尔·格拉纳多等人开发出智能食品标签，奥地利的弗朗齐丝卡·克贝尔开发出用于电子设备的可持续纸质组件等。

“青年发明家奖”于2022年作为欧洲发明家奖的一部分而设立，从2025年起成为一项独立活动。该奖面向全球30岁及以下的创新者或团队。



近日，全国大学生创新成果展在中国国家博物馆举行。参展的118个创新项目为历年中国国际大学生创新大赛中的获奖作品。图为参观者在拍摄全球首辆分布式电驱动飞行汽车。 陈晓根摄



近年来，湖南省永州市道县中小学幼儿园积极开展特色文体活动，图为此项活动。 蒋克青摄