

无人化开采从梦想到现实——

数智技术创新赋能超级矿山

文/图/文

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

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。

组织化平台建设，构建了灵活、可扩展的智能化煤矿平台架构，支持多系统的集成和协同工作；研发煤矿多信息协同管理及设计系统，开发多信息协同管理平台，实现了信息的集中管理和高效利用；研究煤矿生产监控子系统与综合管控平台的融合与迁移，给出现有生产监控子系统的平滑迁移和融合方案，确保了系统的无缝对接。

我们构建了以万兆网为骨干，混合无线高速接入的超宽带、强实时矿用通信网络，创成了高速通讯+井下物联网的煤矿综合信息采集、传输平台，为智慧煤矿的可靠通迅和信息采集提供了基础；以开放服务体系为基础架构，建立了井下无线超宽带定位系统，为井下动目标跟踪、胶轮车管理等应

用提供高精度、大容量的实时位置服务。我们研发了自动化钻锚一体化智能化巷道快速掘进系统，简化掘进支护工艺，大幅提升支护效率；突破掘进机激光、倾角传感器、惯导组合的导航技术与装置，实现掘进装备精确定位；开发远程虚拟三维集控平台，实现掘进过程的远程集中展示和控制。

我们不断完善工作面智能化和无人化开采系统，升级基于TSN（时间敏感网络）综采协同控制系统、工作面自动调直工艺与技术装备、端头与超前支护、运输系统协调联动与同步推进技术等，实现综采装备姿态的全面感知和综采装备群的自主协同运行、无人控制协同推进，达到工作面和超前区域无人操作目标。

针对高强度开采条件下，涌水、煤尘和冲击地压等复合灾害隐患，我们研发了新一代安控系统，保障对工作面智能开采和人员安全。建立水害智能监测、采动应力监测、智能通风、智能防降尘系统、智能防灭火系统、安全监控等7项安全感知系统，突破监控设备数字化、智能化以及高可靠性难题，监控数据上传时间缩短至毫秒内，井下实现多系统融合与应急联动。以监控设备智能化、微型化、低功耗、自供电、自定位、标准化为目标，以智能感知、位置服务、边缘计算、云计算应用为平台，打造矿山类全坐标体系位置服务和一体化矿山物联网两大智能化基础体系，实现各类数据的态势分析、超前预测和报警、自主智能控制，为灾害的多维度、全方位、精准感知和智能管控提供决策依据。

采用煤流智能控制系统、巡检机器人等进技术，我们实现了主煤流系统协同联动、异常状况应急处理等功能，有效减少主运输系统作业人员，确保连续、安全、稳定运输，上下游皮带参数优化和总体运力优化，进行自主变频调速。基于井下精准位置服务系统建立辅助运输车辆智能管理及综合调度系统，建立5G+管控平台+物

流系统融合的辅助运输管理系统，提出与GIS系统融合的统一车辆调度优化方案，开发井下自动驾驶功能的智能车辆，初步实

现远程控制，无人驾驶、远程故障诊断、大数据调度管理等新的物流配送模式，大幅提升煤矿辅助运输安全保障程度。创新研发了运输机器人技术、防爆高级驾驶辅助技术、煤矿智能物流技术、高级检测技术。

我们推广应用井下固定岗位包括水泵房、变电所、井筒等无人值守系统，研发了泵房智能巡检机器人、主变电所智能巡检机器人、井筒罐道智能安监机器人、缆车式回风井智能安监机器人等系列智能巡检机器人，解决井下固定场所智能巡检难题。我们在机器人上安装红外温度检测传感器、有害气体传感器、风速传感器、高清图像采集装置等，并将信息上传至统一平台，实现固定岗位信息的实时感知与预警。

我们以智能无人选煤厂为总体目标，实现选煤厂主动感知、自动分析、快速处理，无人、少人值守的订单化生产管理；研发用智能识别、智能重介、智能加药、智能压滤、智能巡检、智能视频识别、生产管理执行系统；开发选煤厂生产与设备物联网信息系统、选煤厂设备智能查验与检修系统、流媒体通讯系统、选煤厂移动可视化协作平台等智能选煤厂相关产品，实现选煤设备智能运行与运维、状态智能监测、过程智能控制、工艺参数智能设定等。

通过部署矿级私有云软硬件构架、扩展及与混合云系统，我们确保系统的高可用性和扩展性；构建高效的数据管理系统和数据仓库，保证数据的一致性和完整性；开发煤矿大数据主数据管理系统及数据仓库，实现了数据的清洗、转换和加载；制定了数据共享和交换的标准，促进不同系统之间的数据互通。通过研究基于微服务架构的

在智能开采设备群全局最优规划和分

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，湖南万古金矿田在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



作者王國法肖像画。

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，构建了考虑煤矿维保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“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

能充矿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，为深层次梳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

建立煤矿智能化总体架构

通过深入研究，我们建立了煤矿智能化总体架构，明确了煤矿智能化运行各子系统的构成、核心功能和运作模式；建立了各子系统间的数据传输机制和逻辑关联，形成了一套物理对象与逻辑关系信息统一表达和处理的顶层设计架构，制定了智能化煤矿的技术标准体系框架，涵盖总体设计、术语定义、运行管理规范等方面。

特别值得一提的是，我们在数据的一表达和处理方面，确立了数据描述规范，包括数据元素属性、标识符、命名规则、核心元数据等内容，确保数据交互的有效性和一致性；建立统一的数据通信标准，实现多源异构感知数据的集成和融合，打通数据感知和智能应用之间的屏障。

通过部署矿级私有云软硬件构架、扩展及与混合云系统，我们确保系统的高可用性和扩展性；构建高效的数据管理系统和数据仓库，保证数据的一致性和完整性；开发煤矿大数据主数据管理系统及数据仓库，实现了数据的清洗、转换和加载；制定了数据共享和交换的标准，促进不同系统之间的数据互通。通过研究基于微服务架构的

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，分别命名为近小灰鳞粉褶菌、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权威期刊《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属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现实可行的减排方案。

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。 陈晓根据



近年来，湖南省永州市道县积极开展特色文体活动，图为近日该县蒋克青摄

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