

# 智能化采矿技术在煤矿高效开采中的应用现状与发展路径

钱探金

陕西陕煤铜川矿业有限公司下石节煤矿 陕西 铜川 727101

**【摘要】**：在能源结构转型与高质量发展的宏观背景下，智能化建设已然成为破解煤矿开采效率方面所存在瓶颈的关键推动力量。本文聚焦于智能化采矿技术，深入剖析了其在综采工作面自主截割、掘锚一体化及机器人集群作业等关键环节的应用现状，并且针对当前所面临的地质适应性较差以及数据孤岛效应展开了逻辑推理分析。在此基础上，从构建动态透明地质模型、统一工业互联网协议及深化人机协作机制三个维度提出了演进路径。研究旨在为煤炭工业从劳动密集型向技术密集型转变提供帮助，同时为实现本质安全与高效开采给予理论方面的支撑以及实践层面的参考。

**【关键词】**：煤矿开采；智能化采矿技术；物联网；应用现状；发展分析

DOI:10.12417/2705-0998.26.01.068

## 引言

煤炭在我国能源安全领域占据着关键地位，在“双碳”目标以及高质量发展战略这双重力量的推动之下，煤炭正处于一个从劳动密集型向技术密集型转变的深度变革进程之中。随着《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》不断深入推行，智能化已然成为解决采掘失衡问题、提升本质安全水平的核心动力所在。面对深部开采日益复杂的地质环境，传统作业模式已难以维系高效产出的需求。只有促使新一代信息技术与采矿工艺紧密结合，重新构建“人、机、环”的交互逻辑，才可突破传统生产力的效率限制，为能源工业的现代化升级奠定坚实的技术基础。

## 1 智能化采矿的核心定义

“智能化”指的是利用互联网、大数据、云计算等先进技术，让机器取代人类劳动。采用智能化技术采集煤炭，即在使用先进的仪器和设备的同时，使其具有对周围环境的洞察力和判断力，能够根据相关流程，快速完成工作。这种先进的仪器，可以在工作时，通过人工设置的高阶程序，对各种数据进行持续地采集、存储和识别，并对采集到的数据进行汇总，更好地完成工作<sup>[1]</sup>。智能化采矿不是把单一技术简单拼凑在一起，而是一个由多维前沿科技深度融合而成的系统工程。它的技术基础是从对井下物理世界进行全面的感知开始的，依靠激光雷达、惯性导航以及光纤光栅等高灵敏度传感集群，搭建起可穿透复杂地质环境的数字化映射网络。这种能在毫秒级时间内完成全时域信息捕捉的机制，有效地把瓦斯赋存情况、围岩应力状况以及设备姿态等隐蔽的工况转变为可以看见、可测量的数字信号，为生产决策提供了精确的底层依据。

## 2 智能化采矿技术在煤矿高效开采中的应用现状

### 2.1 综采工作面实现常态运行与自主截割

当下应用的主流模式着重于液压支架电液控制与采煤机记忆截割的深度融合。惯性导航装置与三机协同控制算法相配合，达成了刮板输送机的自动找寻以及全工作面设备姿态的自

适应。地面分控中心依靠工业以太网，执行以视频巡视为主、人工干预为辅的远程操控，这种作业形态把工人从采场高危区进行物理隔离，实现了从单机人工操作到设备群自主协同运行的实质性转变，代表了现阶段高效开采技术的最高应用水准。

### 2.2 掘锚一体化破解采掘失衡与高效掘进

智能掘锚一体机集截割、装运与支护功能于单体装备，确立了巷道快速掘进的技术内核。多臂钻车与截割头协同运作，打破了传统掘支分离的串行工序壁垒，实现了掘进与支护的同步并行。激光导向配合惯性导航系统实时锁定航向，纠正掘进偏差，维持巷道成形精度。远程集控平台执行视距外人工干预，将作业人员从迎头高危区置换。这种高集成度作业形态大幅压缩空顶暴露时间，有效缓解采煤与掘进速度失配的行业痛点，代表了现阶段巷道开拓技术的主流应用方向。

### 2.3 机器人集群替代高危作业与定岗值守

煤矿生产中的安全事故是无法避免的，煤矿的环境条件复杂，即便采取了相应的安全措施，也无法有效预防安全事故。安全事故对采矿工人的伤害最大，对

社会也会产生很大的负面影响。通过降低矿工的劳动参与，采用智能装备取代人力，可以在很大程度上解决矿工的伤亡问题。特种机器人集群已在井下变电所、主排水泵房及带式输送机巷道等关键节点实现常态化部署。履带式巡检机器人集成多光谱视觉与声纹识别模块，自主执行全覆盖状态扫描，精准捕捉电机过温、皮带跑偏及机械异响信号。采集数据经由工业环网实时回传，驱动后台算法生成故障诊断报告。钻孔、喷浆等高危工序引入专用作业机器人，将一线人员从高粉尘、高风险的物理空间彻底置换，确立了固定岗位无人值守与危险区域机器人代人的新型作业范式。这种智能化替代方案有效规避了人为误操作隐患，促使设备运维由事后抢修向预测性维护实质性演进。

### 3 智能化采矿技术在煤矿高效开采中的发展路径

#### 3.1 动态重构地质模型，自适应规划截割路径

智能化开采必须突破传统记忆截割对静态地质资料的依赖，向基于实时感知的“自适应截割”演进。核心在于构建高精度动态地质模型，利用随掘地震数据与钻孔雷达探测技术，对回采前方煤岩层进行实时“CT 扫描”。这种动态更新的三维地质数字孪生体，能够提前解算煤层厚度变化与断层构造，将地质透明度从工作面级细化至截割滚筒级。系统据此自动生成最优截割曲线并下达调高指令，驱动采煤机由被动执行程序向主动适应环境转变，彻底解决复杂地质条件下人工频频干预的痛点，确立以地质数据驱动设备群协同的智能决策体系。

以某深部矿井 3012 智能化综采工作面为例，该区域受断层构造影响，煤层厚度在 2.8 米至 4.5 米间剧烈波动。传统模式下，司机难以准确判断煤岩界线，常因误割底板岩石导致原煤灰分飙升，且高强度的冲击负荷加速了截齿磨损。矿方引入透明地质自适应控制系统后，利用防爆地质雷达实时修正截割模板，设备能够精准识别煤层起伏并自动调节滚筒高度。

表 1 3012 工作面应用动态地质模型自适应截割技术效能对比

关键监测指标	传统记忆截割模式	自适应规划截割模式	优化效果分析
人工干预频次	12 次/刀	0.5 次/刀	↓95.8% (实现常态化自主运行)
原煤平均灰分	18.50%	11.20%	↓39.5% (精准识别煤岩界线，少割岩)
截齿月消耗量	180 个	45 个	↓75.0% (柔性截割减少刚性冲击)
工作面月推进度	160 米	245 米	↑53.1% (系统开机率与连续性提升)
资源回收率	88%	96%	↑9.1% (沿顶底板精准回采，减少丢煤)

实测数据所呈现的情况显示，在运用该技术之后，采煤机对于复杂地质条件的适应能力有了十分突出的提高。其中最为直观的体现就是人工干预的频次，从传统模式下平均每一刀需要进行 12 次干预，急剧下降到了 0.5 次，这意味着在绝大多数的时间里，设备可处于完全自主运行的状态，单班生产无需再依靠人工时刻密切关注。精准的层位控制直接减少了割岩的概率，使得原煤的平均灰分从 18.5% 优化到了 11.2%，煤质得到了十分突出的提升，柔性截割策略有效地避免了硬岩的冲击，将截齿每月的消耗量从 180 个减少至 45 个，极大地降低了耗材成本。在设备稳定运行以及无人化作业这两个因素的双重推动下，工作面每月的推进度从 160 米提高到了 245 米，资源回

收率也因为精准控制采高而提高了 8 个百分点，这充分验证了“地质透明化”对于高效开采所起到的决定性支撑作用。

#### 3.2 统一异构数据协议，全系统协同智能联动

当前发展的核心路径在于强制推行行业通用的数据通信标准（如 OPC UA 协议），在边缘侧部署高性能计算节点，对海量异构数据进行清洗与标准化封装，打通采掘、机电、运输、通风等子系统间的信息物理连接<sup>[2]</sup>。建立跨系统的逻辑闭锁与联动响应机制，确保生产要素在统一的工业互联网平台上实时交互。这种底层数据的无缝贯通，旨在解决“数据烟囱”造成的决策割裂，实现瓦斯超限瞬间自动切电、主煤流负荷联动调速等毫秒级协同响应，构建全矿井生产要素的集群化智慧调控体系。

表 2 某高瓦斯矿井多系统协同联动改造效能对比

关键监测指标	子系统独立运行模式	全系统协同联动模式	优化效果分析
瓦斯超限断电响应时延	65 秒 (人工调度)	280 毫秒 (自动联动)	↓99.6% (实现毫秒级本质安全响应)
主运输系统空载率	25%-30%	<5%	↓20pct (依据煤量负荷自动变频调速)
吨煤综合生产电耗	24.5 kWh/t	19.1 kWh/t	↓22.0% (设备群最优能效调度)
调度中心单班值守人数	15 人	4 人	↓73.3% (打破条块分割，实现融合监控)
多系统逻辑误报率	4.5 次/月	0.2 次/月	↓95.6% (多源数据交叉验证剔除干扰)

以某高瓦斯矿井的“一张网”综合管控平台升级改造为例，该矿此前安全监控、供电系统与运输系统独立运行，应急响应依赖人工电话调度，指令传达往往存在滞后性。矿方引入统一数据中台后，将井下 1200 余台感知设备与 40 多个子系统集成至单一协议框架下，实现了“瓦斯-电-风”的深度协同联动。实测运行显示，系统集成打通了数据孤岛。当采煤工作面瓦斯探头监测数值出现异常波动（如超过 0.8% 预警值）时，智能中枢无需人工确认，直接向高压配电开关下达断电指令，并同步联动局部通风机加大风量。这一过程的响应时间由人工调度模式下的 65 秒锐减至 280 毫秒，消除了人为反应迟滞带来的安全隐患。此外，协同效应还体现在能效管理上，主运输皮带不再恒速空转，而是根据采煤机回传的实时煤量数据自动调节带速，实现了“煤多快跑、煤少慢跑”。如表 2 所示，这种全系统的智能联动不仅将应急响应速度提升了两个数量级，还通过精准调控使吨煤综合电耗下降了 22% 以上，调度中心凭借集约化管理将单班值守人员从 15 人精简至 4 人，真正实现了由“人

治”向“数治”的转型。

### 3.3 迭代特种机器人群，深层次人机协作融合

针对井下高湿、狭窄及非结构化的作业环境，重点攻关方向应由简单的状态监测转向高负荷的辅助作业。通过引入触觉感知与力反馈控制技术，赋予机器人处理支护补强、管路安装及设备维修等精细化操作的能力。构建“人脑决策+机器执行”的深度协作模式，利用人工智能辅助分析复杂工况，由机器人承担高危与重体力环节，工人则专注于非确定性场景的临机决策，实现从单纯的物理替代向人机智能融合的高阶形态跃升<sup>[1]</sup>。

以复杂地质条件下的巷道支护与喷浆作业为例，这是煤矿井下劳动强度最大、职业健康危害最严重的环节之一。传统作业模式下，工人需手持高压喷枪近距离面对岩壁，不仅长期暴露于高浓度粉尘与回弹料伤人的风险中，且喷层厚度常因工人手臂疲劳而出现不均，极大影响巷道支护质量。某大型矿业集团引入了“锚-喷-运”协同作业机器人集群，重塑了这一作业流程。

在实际应用中，现场不再看到工人肩扛手提的忙碌景象，取而代之的是位于后方安全舱内的操作员与前方机器人的默契配合。作业开始前，机器人利用搭载的三维激光扫描仪对巷道轮廓进行实时建模，自动规划出最优的喷射轨迹与机械臂运动路径。操作员通过数字孪生界面下达指令后，机器人即自主

执行高精度的喷浆作业。当遇到围岩破碎严重或凹凸不平的特殊构造区域，机器人的自主算法可能难以判定喷射角度，此时系统会自动发起“人机切换”请求。经验丰富的操作员随即介入，通过低延时手柄接管控制权，凭借经验调整喷头姿态进行补喷。待通过复杂区域后，控制权再次移交回机器人。这种“人定策略、机作苦力”的协作方式，既保证了支护工程的标准化质量，又彻底解决了高危环境下的职业病防治难题，让一线矿工从繁重的体力劳动者转型为指挥机器人的技术工匠。

## 4 结语

智能化建设乃是煤炭工业摆脱“高危、粗放”这种状况，达成高质量发展的必然途径，当下像5G通信、液压支架电液控制以及特种机器人等所构成的技术集群，已经初步打破了深部开采里“人海战术”所带来的效率困境，然而地质透明度较低以及异构数据融合存在险阻，依旧是限制系统从“自动”朝着“智慧”转变的关键妨碍。随着透明地质模型的动态重构与工业互联网底座的夯实，井下作业终将实现由“人工主导”向“数据驱动”的根本性转变。打造全时域感知以及全流程协同特性的智慧矿山，并非仅仅局限于技术装备的更新换代，实际上是对传统采矿工艺以及生产组织模式重新塑造。这是关乎保障国家能源安全的关键战略选择，也是促使矿工可从黑暗的井下迈向地面阳光，达成体面就业的最终理想目标。

### 参考文献：

- [1] 魏鑫鑫.智慧煤矿与智能化开采关键核心技术分析[J].内蒙古煤炭经济,2022,(21):24-26.
- [2] 付翔,王开,王然风.智能采矿数智赋能技术内涵与应用范式[J].工矿自动化,51(3):1.
- [3] 赵光瑞,林江,杨喜涛,等.基于矿鸿系统的采煤机智能监控系统设计[J].中国矿业,2025,34(S1):249-254.