

煤矿采矿工程生产效率大数据优化系统的构建

文 | 孙朝春 李振 卢志新

煤炭作为我国核心能源，其开采效能深刻影响国家能源保障和经济运行水平，传统生产方式普遍存在信息割裂、反应迟缓及调配不合理等问题，在“双碳”战略与数字化转型推动下，大数据手段为化解效能瓶颈开辟了新思路。开发覆盖生产全过程的大数据优化平台，实现数据支持智能决策与联动调控，成为煤矿智能化进程中的关键目标。

煤矿生产效率提升的大数据需求分析

传统煤矿生产长期受限于信息隔绝、决策延迟及资源调配不合理等状况，导致生产效能提升受到限制。各生产作业相互之间孤立存在，采、掘、运、排等核心环节缺少有效的联动配合，设备状态监控系统协同不足，安全隐患预警滞后，共同制约了生产效率取得突破性进展。大数据技术的应用为打破上述困局开辟了新的解决方向，通过对全生产要素数据开展系统性采集、动态分析并进行智能化调控，可以推动生产过程变得全面可视、让决策制定更为精准、使资源配置达到最优状态。（如图1所示）。

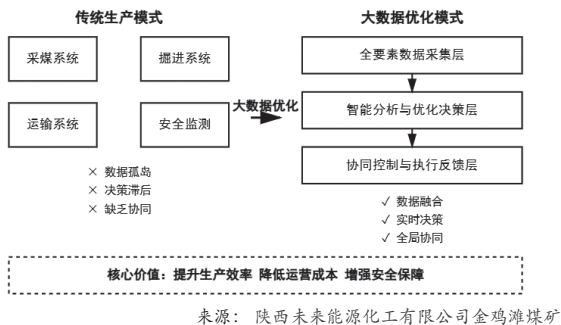


图1 传统模式与大数据优化模式对比

如图1所示，传统生产方式里各系统彼此独立运行制约整体效能提升，与之相比，基于大数据的优化模式构建层次化架构，实现数据驱动循环管理。在数据采集层面，该架构整合开采、运输、安全等各环节信息消除“信息孤岛”；在数据分析层面，借助大数据技术对信息即时分析并智能化判断，将庞大数据转化为具体优化方案；在执行应用层面，实现跨系统联动调控与实时反馈，建立持续优化机制。这种设计让生产模式从依赖经验转向依靠数据，从被动应对转为主动优化，为提高煤矿生产效率提供系统性解决方案。

生产效率大数据优化系统架构设计

多源异构数据采集与融合层

系统感知基础是由数据采集与融合层来构建的，通过

布置能够覆盖井下全区域的传感装置网络，从而对生产要素进行全面的感知。此层应用物联网三阶结构，在感知网络当中配置气体探测器、温湿度探测器、位移探测器、激光雷达、高清摄像仪及UWB定位标签等各类装置，以此实现对“人员、设备、环境、管理”四项要素的即时监控。网络传输层运用工业以太网、5G、Wi-Fi6与光纤环网的多网融合架构，采用Modbus、OPC-UA等通用规程，突破制造商之间的技术限制，保障数据传递的稳定性与低延迟。数据融合依托边缘计算技术，在井下各站点实施初步处理与格式标准化，将来自采煤机、液压支架、掘进机、运输装备等不同系统的资料进行时间空间校准与含义标注，生成规范化的数据序列输送至中央平台，为后续分析提供优质的数据基础。

分布式计算与智能分析层

分布式计算与智能分析层是系统核心处理单元，承担着把原始数据转化为决策支持的关键职能。该层级通过构建大数据中台的方式，依托分布式存储技术对PB级历史数据和TB级实时流数据统一管控，运用数据清洗、去重及补全等手段保证数据质量达标。智能分析模块会依据具体应用需求开发定制化算法模型，其中，设备健康监测模块利用振动、温度、电流等多维参数构建故障预测体系来提前预警，生产调度优化模块采用运筹学算法对采掘运系统进行全局优化，并动态生成最优作业方案，安全风险评估模块整合瓦斯浓度、顶板压力、微震信号等多源数据，建立多因素耦合的风险预警体系。系统采用流批一体化计算架构，既能实现秒级实时分析以应对紧急工况，又支持离线深度挖掘来发现潜在规律，为科学决策提供有力支撑。

优化决策与执行反馈层

优化决策与执行反馈层会把分析结果转化成生产优化指令，进而形成闭环控制。决策模块依据分析层所提出的优化方案，同时考虑生产限制条件及安全标准，生成可直接执行的控制指令，并下发给各个子系统，以此确保采掘运系统协同运作并实时调整。（如表1所示）。

表1 智能化技术应用前后生产效率对比

生产环节	技术应用前	技术应用后	变化幅度
煤炭回采率 (%)	85	95	+11.8%
工作面日推进速度 (米)	8 ~ 10	12 ~ 15	+50%
采煤机割煤精度 (厘米)	±30	±10	提升 67%
瓦斯监测精度 (%)	0.1	0.01	提升 90%

来源：某大型现代化煤矿（年产1000万吨）实际应用案例

表1数据表明，闭环控制机制依靠优化决策和执行反馈的方式，全方位地提升了煤矿的生产效率。工作面提升速率达50%，有效缩短了整体生产的周期，回采率提高了11.8%，显著增加了资源回收的数量，监测精度得到显著提升，为精确控制提供了可靠的数据支撑，采煤机割煤精度提升67%，是实现高回采率极为关键的保障。这组数据充分印证了决策执行层成效，将数据价值转化为生产效能，推动煤矿生产效率实现了系统性进步。

面向生产全流程的效率优化实现

采掘运协同调度效率提升

采掘运协同调度依靠大数据分析技术来确保生产全流程动态协调和资源高效利用。系统会实时获取采煤工作面产量、掘进进度及运输设备运行状态等信息，通过构建多目标优化模型计算得出最优调度计划。采煤机能够依据煤层赋存状况和产量目标自动调节截割速率，液压支架可完成每架8~12秒的自动跟机作业，从而推动工作面日进尺从8~10米提高到12~15米。掘进系统根据地质勘测数据优化掘进方案，在硬岩地层中效率提高30%，且月度掘进进尺维持在600~800米，运输调度模块基于产量预测实时调整皮带输送机运行参数，利用高精度张力传感器（误差±0.1%）和温度监测系统（超60°C自动触发喷淋）实现智能调速，使运输效率提升30%。无人驾驶电机车搭载激光雷达定位系统（定位精度3厘米）和5G通信技术，完成车辆智能调度与路径规划，让运输效率提高25%且事故率接近零，有效增强生产系统整体协同效能。

设备运行状态优化与故障预测

设备运行状态优化借助融合多维传感数据的实时采集和智能解析，推动设备维护模式从故障后被动检修升级成事前预测性维护。该方案在采煤机、液压支架、掘进机及输送机核心设备上，布设振动、温度、电流、压力等传感装置，来持续采集运行特征参数，以此构建设备健康度评估模型，其中，健康状态评估运用的是加权综合评分方法。

$$H = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \frac{P_i - P_{min}}{P_{max} - P_{min}}$$

式中： H 为设备健康度； w_i 为第*i*项参数权重； P_i 为实时监测值； P_{max} 、 P_{min} 为参数正常运行区间上下限； n 为监测参数总数。一旦系统监测到健康状态没达到预设标准，就会马上启动告警程序并发送维护措施到管理后台。该故障预测模块依靠机器学习技术，通过深度挖掘过往故障记录和设备运转轨迹，前瞻性捕捉异常特征，来实现对故障的预先判断和有计划检修，显著缩短意外停机时长，来确保生产过程平稳运行和设备长期稳定。

安全风险管控下的生产连续性保障

通过建立起全方位的预警机制，在保障安全的前提下充分挖掘生产潜力，系统配置高灵敏瓦斯监测设备，其精度能够达到0.01%，持续追踪井下环境气体指标，当瓦斯浓度持续10秒超过0.9%阈值，系统即启动二级预警并强制切断电源，同时激活通风装置，将风力瞬时增强20%。岩层状态监测体系整合压力感应器、位移监测装置及震动传感网络，通过智能算法对采集的围岩压力信息进行深度分析，精准预测岩层垮塌风险。作业人员定位系统运用超宽带技术实现30厘米级精度的实时定位，对井下人员动态轨迹进行全程监控，并在靠近危险区域时自动发出警示，为紧急救援提供准确的位置支持。安全监测数据与生产管理平台实现信息互通，根据安全状况灵活调整生产策略，在安全条件良好时提高作业效率，风险等级上升时则主动降低产能或暂停作业，构建安全与效能的动态协调体系，确保生产活动能够有序开展。

结束语

大数据优化系统把多源异构数据采集与融合进行整合，依托分布式计算及智能分析，结合优化决策和执行反馈这三层结构来协作，解决了传统煤矿生产中存在的效率限制。系统在采掘运协同调度、设备维护管理及安全风险防控等关键领域实际运行效果表明，工作面开采速度提高了50%，资源回采率突破了95%，运输效率改善了25%~30%，实现了生产效能的整体性飞跃。后续要持续推动大数据、人工智能及数字孪生等前沿技术交叉融合，突破复杂地质环境下的自适应控制难关，打造煤矿安全智能模型体系，引领煤矿生产向着无人化、智慧化模式转型，为煤炭产业的高质量发展奠定技术基础。

作者简介：孙朝春 陕西未来能源化工有限公司金鸡滩煤矿
李振 陕西未来能源化工有限公司金鸡滩煤矿
卢志新 陕西未来能源化工有限公司金鸡滩煤矿

责任编辑：徐培炎 投稿邮箱：zhouhl@staff.ccidnet.com