

# 煤矿安全生产中智能化地质探测技术的应用

郭 鹏

国家能源集团 陕西榆林 719300

**摘 要：**煤矿开采逐步延伸到深部后，地质条件变得比较复杂，传统探测技术无法很好满足安全生产的需要，智能化地质探测技术把地球物理勘探、大数据分析和人工智能进行结合，达到地质信息的精准获取和动态预警，本文说明了随掘随探超前探测、透明地质三维建模、微震监测和TST精细探测这四种智能化技术的基本原理及具体应用，利用平顶山十三矿、姚桥煤矿、玉溪煤矿和永陇矿区等多个实际案例进行验证，结果发现智能化探测技术在灾害超前预警、构造精准识别、资源回收率提高等方面取得了明显效果。研究说明，智能化地质探测技术正在促使煤矿安全生产由被动防控转变为主动预警，给形成透明地质模式、达到本质安全提供了技术支持。

**关键词：**智能化探测；透明地质；煤矿安全；随掘随探；三维地质建模；微震监测

## 引言

煤矿安全生产是行业发展过程中需要解决的主要问题，国内浅部资源慢慢变少，煤矿开采深度每年增加十到二十五米，地质条件慢慢变得更复杂，高瓦斯、断层发育、构造煤和陷落柱等隐蔽致灾因素相互叠加，给采掘作业安全带来严重威胁，传统地质探测方式大多需要停产进行，这不仅会干扰生产进度，而且在探测盲区大、构造识别效率不高、数据更新慢等方面存在缺陷，使得掘进作业经常处于“盲推”状态。

近几年，智能化技术的突破给地质探测带来了巨大变革，把随掘随探、透明地质建模、微震监测作为代表的智能化探测系统，包括高精度传感器、实时数据处理和人工智能算法，达到把“点状探测”变为“连续透视”、把“经验推断”变为“智能预警”的跨越，2024到2025年，有关技术在平顶山、淮南、山西和陕西等重点矿区进行了大规模运用，累计预测地质异常数百处，主要技术指标达到国际先进水平。智能化地质探测正变成煤矿达到透明地质和安全开采目标的主要支撑。

## 一、智能化地质探测主要技术类型与原理

### （一）随掘随探超前探测系统

传统地震探测方法需要停止生产来布置炸药震源，陷入要探测就耽误生产、要生产就无法探测的两难处境，

随掘随探技术把掘进机作业时所发出的震动当作震源，通过在巷道中布置高精度传感器阵列来实时采集地质信号，并利用大数据优化采集处理和动态CT反演算法，达到对掘进前方一百五十米范围内的地质进行精细成像的目的。该系统具有滚动探测和实时预警的能力，探测准确率在90%以上，在不干扰正常掘进的情况下能够持续跟踪地质变化，被形象地称为掘进作业的安全导航。

### （二）透明地质三维建模技术

透明地质建模运用数据驱动理念，把钻孔、物探、测量、水文和瓦斯等多源异构数据进行结合，利用TIN不规则三角网技术进行三维地质模型的建立，运用三角面网络来表达地形地貌、断层产状、煤层起伏和构造空间特征，模型可以使用动态更新方式，随采掘作业进行把新揭露的地质数据进行实时融合，完成从静态描述向动态透视的改变。目前，先进的建模技术把垂向网格精度做到0.5米，在探测精度上达到米级，为智能开采提供了高精度地质底图。

### （三）立体微震监测网络

微震监测技术利用岩体破裂产生的微震信号对应力场分布和裂隙演化规律进行反演分析，开采对岩体产生扰动后会引发这些信号，最新发展的“地面加上井下”的立体布设模式，在矿区地面进行监测台站布设，并在井下部署监测点，从而对岩体应力变化形成秒级响应能力，系统可以自动识别矿震类型并确定震源位置，同时计算释放能量，定位精度达到200米以内，对冲击地压和岩爆等动力灾害可以进行前兆识别和风险预警。

**作者简介：**郭鹏（2003.06—），男，汉族，陕西省榆林市神木市马镇，大专，工人，研究方向：煤矿相关方向。

#### (四) TST超前精细探测技术

隧道地震波层析成像TST技术是为解决复杂地质条件下微小构造识别困难而发展起来的,本文研发新型检波器锚杆耦合装置来提高信号采集质量,同时应用变异度函数优化算法,将构造识别精度提高40%,使探测距离达到200米以上,该技术在煤岩界面识别、煤层尖灭边界圈定和隐伏断层定位上具有明显优势,可以进行兼顾大测深、高精度和高效率的数据采集和解译工作。

#### 二、典型应用案例分析

##### (一) 平顶山十三矿: 随掘随探系统成功预警地质异常

平顶山天安十三矿属于具有代表性的高瓦斯、断层发育、构造煤复杂矿区,在采用传统探测方式进行掘进作业时,作业过程好比“盲人摸象”,难以提前掌握瓦斯异常区与隐伏构造,安全风险比较突出。

2025年,中国煤科西安研究院自主研制开发的随掘随探超前探测系统在十三矿投入使用,该系统利用掘进机震动作为震源,依靠在巷道里布置的高精度传感器阵列对信号进行实时采集,同时整合动态CT反演算法来生成掘进前方的地质成像,在使用过程中,系统累计进行掘进探测数千米,成功预报和揭露地质异常140余处,包括多条隐伏断层和瓦斯富集区。在一次进行掘进作业过程中,系统通过利用实时监测发现瓦斯浓度上升到百分之零点一五,并且经反演分析得出前方存在构造破碎带,矿山企业依据该信息提前对掘进参数进行调整并在瓦斯上抽采工作加强力度,由此避免了可能发生的瓦斯上异常涌出事故,十三矿矿长评价道:以前做一次探测花费很多时间和精力,现在井下就像拥有了“安全导航”,在掘进的同时透视地层,心里确实有底了。

该案例表明,随掘随探技术把超前探测结合进掘进工序,达到“边掘边探、实时预警”的效果,根本上扭转了传统探测干扰生产的不利情况。

##### (二) 姚桥煤矿: 三维地质建模实现老矿“透明化”重生

姚桥煤矿坐落在苏鲁交界处的微山湖西岸,属于一座已有五十年多开采历史的老矿井,矿区地质环境比较复杂,存在发育的断层与褶皱等构造,采用传统的探测方式所获取的信息不多,无法全面掌握矿井的资源状况。

姚桥煤矿为了解决该问题,在数据驱动理念的指导下,研发了地质建模应用管理系统,系统把矿井几十年积累的钻孔、巷道、测量数据和实时揭露信息进行了结

合,通过TIN技术建立覆盖全矿区的三维地质模型,在智慧调度指挥中心,技术人员轻点鼠标就能把地层剥开——标红的断层线、蓝色的瓦斯聚积区还有蜿蜒的巷道网络都看得清清楚楚。

模型具有的价值主要在于进行动态应用,在某一掘进工作面上,技术团队利用剖切功能来分析工作面和断层之间的空间关系,发现原设计路线将会揭露一条隐伏断层,存在发生突水的风险,利用模型获得准确位置数据,矿方可以对巷道布置进行优化,避开断层破碎带,从而保障安全掘进。姚桥煤矿总工程师高川做了一个形象的比喻:该系统有如一面透视镜,能够观测整个矿井,清楚地展示地质构造、煤层赋存、水文情况,使安全隐患无法隐藏。

地质建模应用管理系统把地质、测量、储量、水文、瓦斯等数据整合成统一的综合地质信息数据库,利用一张图理念实现全矿井信息可视化集成,给老矿智能化转型打下良好基础。

##### (三) 玉溪煤矿: 立体微震监测网络实现动力灾害主动预警

冲击地压和动力灾害有突发性强和破坏力大的特点,传统监测手段没办法及时捕捉前兆信息,2024年至2025年期间,兰花科创玉溪煤矿被选定为山西省巨灾防范工程第一个示范矿井,形成了覆盖整个矿区的地面和井下立体微震监测网络。

该监测模式在地面安装5个监测台站,井下部署3个监测点,拥有了能够对井下岩体应力变化进行秒级响应的能力,系统会自动识别矿震类型、定位震源并计算能量,达到对矿区微震活动进行实时处理的目的,系统自投入运行以来,已经连续稳定运行9个月,累计捕捉定位有效微震事件9480次,定位精度小于200米。共触发风险预警7次,包括中危险6次和弱危险1次,经和生产实际对照验证,预警信息准确可靠。

玉溪煤矿也会和专业矿震监测机建立立常态化的技术协作模式,通过联合进行数据仔细挖掘和预警模型优化,推动安全治理从被动处置向主动预警转型,当前,该煤矿正在推动由微震定位同地质CT技术构成的智能预警平台建设工作,为实现全透明开采和全智能预警的本质安全目标不断前进。

##### (四) 永陇矿区: TST精细探测创造显著经济效益

陕西永陇矿区煤层赋存不稳定,小微构造分布密集,传统槽波勘探看不清构造,识别构造困难,一八六公司

引入基于变异度函数的TST超前探测技术,在该矿区进行了一些应用实践。

在一处掘进巷道构造探测项目里,TST技术精确圈定出一个断层,并且顺利对三个破碎带突水风险进行预警,矿方按探测结果预先制定断层处置方案,运用加固和疏水等预防方式,对突水事故进行有效防范,在某矿井23盘区南部无煤边界探测工作中,技术团队把TST数据解译技术用到反射槽波探测上,确定了煤层变薄边界和尖灭边界。矿方根据该信息把工作面宽度由180米改为190米,增加可采储量21万吨,按当时市场价格计算直接增加经济收入约8400万元,同时,在无煤区域避免进行无效掘进380米,直接节约成本570万元。

该案例说明,准确的地质探测不仅可以保障安全,还会产生很好的经济效益,正如矿方技术负责人所说:“这项技术就像给我们装上了‘导航仪’,使我们清楚知道哪里有煤、哪里没煤,再也不用‘摸着石头过河’”。

### 三、应用成效与技术优势

综合上述案例,智能化地质探测技术在煤矿安全生产中的应用成效主要包括在以下几个方面:

首先,探测的精确度和效率都得到提高,随掘随探技术可以对掘进前方150米范围内进行高精度成像,准确率达到90%以上,TST技术可以把识别精度提高40%,探测距离增加到200米以上,三维地质建模的垂向网格精度达到为0.5米以内,跟传统方法相比,智能化探测在精度、距离、分辨率等方面都有数量级的提高。

其次,灾害预警由被动变为主动,立体微系统震达到秒级反应时间且在二百米范围内定位精度较高,成功捕捉接近一万次微系统震事件同时触发有效预警,在掘进过程中实时监测瓦斯浓度变化,同时动态辨识地质异常,预警能力的提前为灾害防治争取到宝贵的时间窗口。

第三,经济效益和安全效益有着一样的重要性,永陇矿区单个项目增加可采储量21万吨,节约掘进成本570万元,姚桥煤矿利用精确建模方法,使多条断层被错误揭示的风险得到降低,十三矿成功预报一百四十多处地质异常,保证复杂条件下安全进行掘进,智能化探测的投入产出比于多个案例中得到验证。

其四,生产方式出现根本改变,从经验摸索转变为智能导航,从盲人摸象发展为透明地质,从停产探测进阶为随掘随探,智能化技术正在重新塑造煤矿地质保障

工作的流程和模式。

### 四、结论与展望

智能化地质探测技术在煤矿安全生产上所取得的效果相当明显,通过随掘随探超前探测、透明地质三维建模、立体微震监测及TST精细探测这些技术形成的模式,可以获取高精度的实时地质信息,能够对隐蔽致灾因素进行动态预警,并且会让采掘作业达到智能导航的效果,平顶山十三矿和姚桥煤矿、玉溪煤矿、永陇矿区等实例证明,智能化探测技术很好地处理了探测手段精度不高、妨碍生产、适应性不强的状况,促使煤矿安全治理由被动处置转向主动预警。

将来,智能化地质探测技术会朝更深层融合方向发展,数据融合程度将得到提高,达到地质探测,监测预警同采掘控制的闭环联动,二是人工智能算法在识别微弱信号和构造自动解译等方面的应用会更加仔细,三,透明地质理念会由单个矿井向矿区级范围扩大,为区域煤炭安全上提供技术所支撑。由于技术持续迭代及应用不断深入,智能化的地质探测会把煤矿本质安全和高水平发展培育出更强劲动力。

### 参考文献

- [1] 中国煤炭科工集团.掘进作业的“安全导航”——“随掘随探超前探测系统”成功应用[EB/OL].(2025-09-24)[2026-03-02].
- [2] 大屯煤电公司.姚桥煤矿:装上“透视眼”,地层变透明[N].中国煤炭报,2025-03-28.
- [3] 晋能控股集团.常顺煤业公司:三维地质建模助力探测精度达到米级[EB/OL].(2025-05-08)[2026-03-02].
- [4] 山西省政府.全省首套“地面+井下”立体微震监测网络在玉溪煤矿正式启用[N].山西日报,2025-09-09.
- [5] 科技日报.山西首套“地面+井下”立体微震监测网络启用[N].科技日报,2025-09-12.
- [6] 国家能源集团.揭开大地神秘的面纱[N].国家能源集团报,2025-11-03.
- [7] 陕投集团.陕煤地质一八六公司:从“朦胧”到“清晰”——“TST超前探测技术”精细化解析地质构造[EB/OL].(2025-09-22)[2026-03-02].
- [8] 济宁能源集团.济宁能源集团首家透明地质保障系统在朱家崮煤矿投运[EB/OL].(2025-12-16)[2026-03-02].