

金佳矿突出危险区域-局部动态实时 监测预警技术

汇报人：宋大钊 教授、博导
单位：北京科技大学

2020年 12月

汇报提纲

- 一、研究背景及意义**
- 二、技术内容与创新成果**
- 三、技术先进性及知识产权**
- 四、主要研究结论**

1

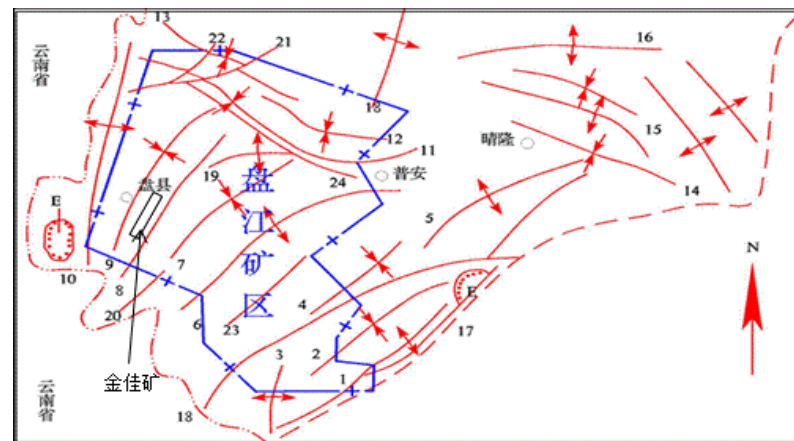
研究背景及意义

一、研究背景及意义

- ❑ 盘江矿区是我国西南地区煤与瓦斯突出灾害的严重矿区,矿区地质条件特别复杂, 开采条件差, 瓦斯防治问题尤其突出;
- ❑ 金佳矿井位于六盘水市盘县红果镇境内, 矿井设计生产能力180万吨/年, 煤层瓦斯含量大 (最高 $20\text{m}^3\cdot\text{t}^{-1}$)、压力高 (最高 1.8MPa) , 是盘江精煤公司典型的煤与瓦斯突出矿井。



金佳矿位置图



1—泥堡背斜; 2—青山向斜; 3—老鬼山背斜; 4—法泥向斜; 5—碧痕营背斜; 6—盘南背斜; 7—旧普安向斜; 8—盘县大断裂; 9—盘关向斜; 10—小竹箐背斜; 11—照子河向斜; 12—白夹坪向斜; 13—土城向斜; 14—晴隆向斜; 15—花江背斜; 16—茅口背斜; 17—黄泥河-潘家庄断裂; 18—下甘河断裂; 19—龙背斜; 20—水塘向斜。21—松河断层; 22—土城酒基断层; 23—归顺断层; 24—照子河断裂。

盘江矿区地质构造纲要图

一、研究背景及意义

- 矿井地构造复杂，断层非常发育，共发现断层125条，小断层多，大断层落差大；井田内顶、底板均为泥岩及泥质粉砂岩，岩性致密，不利于瓦斯的逸散。
- 含煤地层为二叠系上统龙潭组，可采煤层 15 层，平均总厚为21. 86 m，平均倾角 22°，主采煤层均是煤与瓦斯突出煤层。
- 金佳矿历史上曾发生 2 起煤与瓦斯突出事故。

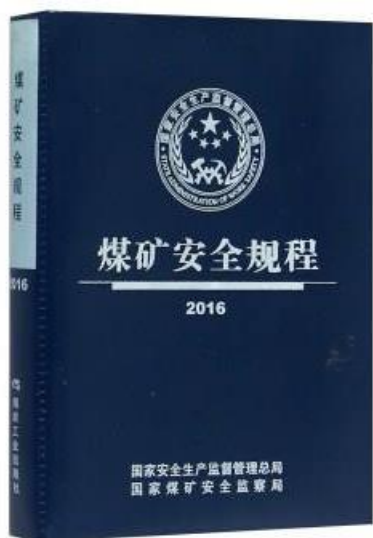
金佳矿煤与瓦斯突出事故列表

时间	地点	突出煤量	死亡人数	经济损失
2007.7.7	1175 运输巷	10 t	4人	-
2013.1.18	211切眼	-	13人	1705 万元

中煤组煤层及瓦斯赋存参数

煤层编号	平均煤厚/m	瓦斯放散初速度	普氏系数	瓦斯压力/MPa	破坏类型	突出危险性
12	1.2	12.6	0.50	1.22	Ⅲ—Ⅳ	突出
13	1.2	14.4	0.43	1.12	Ⅲ—Ⅳ	突出
17	3.4	18.4	0.38	1.39	Ⅳ—Ⅴ	突出
181	2.2	15.3	0.20	1.13	Ⅲ—Ⅴ	突出
18	2.4	20.6	0.33	1.22	Ⅲ—Ⅳ	突出
22	1.5	21.4	0.30	1.18	Ⅲ—Ⅳ	突出

一、研究背景及意义



- 突出矿井的防突工作必须坚持**区域综合防突措施先行、局部综合防突措施补充**的原则。
- **区域综合防突**措施包括区域**突出危险性预测**、**区域防突措施**、**区域防突措施效果检验**和**区域验证**等内容。
- **局部综合防突**措施包括**工作面突出危险性预测**、**工作面防突措施**、**工作面防突措施效果检验**和**安全防护措施**等内容。

一、研究背景及意义

金佳矿现在实施的防治措施：

- 执行煤与瓦斯突出预测制度，通过**钻屑指标法**等方法提前判别采掘工作面前方的突出危险性；
- 安装了**KJ218N型煤矿安全监控系统**及在井下主要位置安装了瓦斯传感器和开停传感器；
- 大力增加**瓦斯抽放工程**，实施了本煤层钻孔预抽、底板穿层钻孔抽放，高位抽放巷等多种举措预抽煤层瓦斯。
- 主要利用**钻孔瓦斯涌出初速度q值**进行防突效果检验。

预测

监测

措施

检验

一、研究背景及意义

01

区域应力场探测研究缺乏

如何有效监测探测区域动态应力场是准确预测突出危险的关键。

02

多元监测信息数据挖掘不足

采用大数据方法对多元监测信息进行深入数据挖掘，是提高预测准确率的重要方向。

03

未建立综合监测预警技术方法

尚未建立综合考虑区域应力场、开采强度、煤岩破裂特征及瓦斯参数的动态实时监测预警技术方法。

本项目主要研究：区域与局部相结合，多参量集成递进聚焦式监测预警技术

2

主要技术内容与创新成果

二、主要技术内容与创新成果

主要技术内容

(一) 金佳矿瓦斯事故规律分析与历史监测数据挖掘

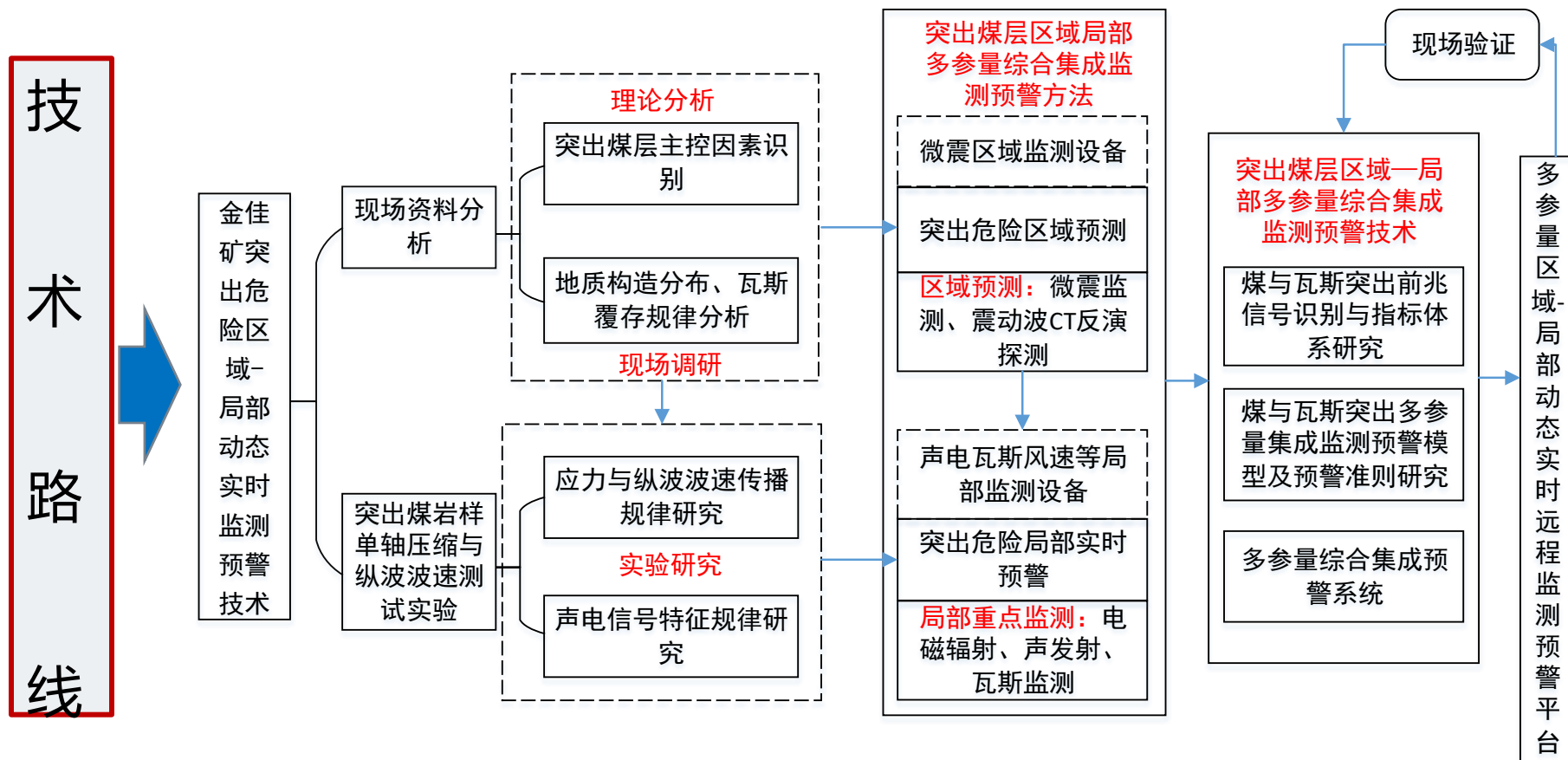
(二) 煤与瓦斯突出多参量区域-局部动态实时远程监测预警平台建立

(三) 煤与瓦斯突出前兆信号识别与预警敏感指标研究

(四) 煤与瓦斯突出多参量集成监测预警模型及预警准则研究

(五) 煤与瓦斯突出多参量区域-局部动态实时远程监测预警平台的示范应用

二、主要技术内容与创新成果



二、主要技术内容与创新成果

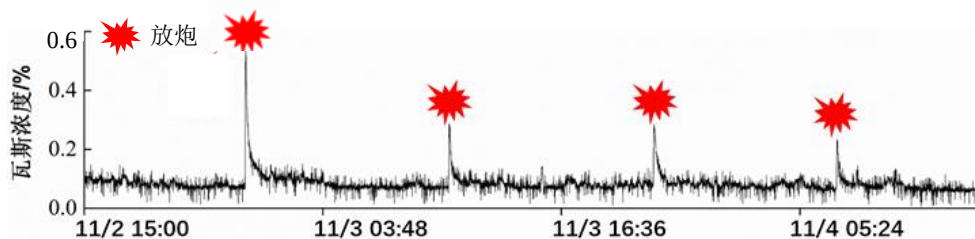
- (1) 建立了基于差分卷积神经网络 (CNN) 分析的**煤巷掘进过程放炮事件自动识别算法与突出危险性预测方法**，实现了对放炮时刻及炮后瓦斯浓度峰值的辨识、提取及煤层突出危险性的智能预测。
- (2) 基于**微震监测与震动波CT反演技术**，研发了突出矿井采区地质异常体动态监测、煤层区域应力场动态反演和突出危险区域可视化预测方法。
- (3) 研究建立了**突出危险区域—局部动态实时监测预警方法**，建立了瓦斯、电磁辐射、声发射、微震、震动波CT等多参量综合集成的监测预警模型，确定了预警敏感指标和临界值，形成了预警准则统一、预警指标统一、预警临界值统一的多参量综合集成预警体系。
- (4) 开发了**突出危险多参量集成预警远程系统平台**，通过对多参量监测预警数据的远程在线传输、存储和挖掘分析，实现了对突出危险性的远程实时监测预警及消突效果的考察。

创新成果一：基于CNN的放炮事件快速精准识别技术与突出危险智能预测方法

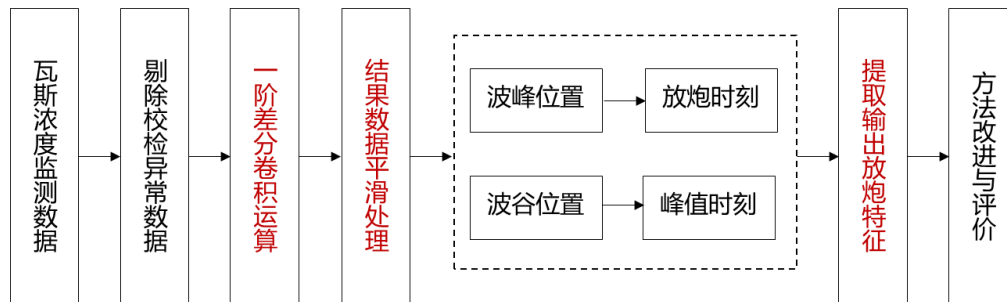
(1) 建立了基于瓦斯浓度实时数据的放炮事件自动识别算法

金佳矿煤巷掘进以**炮掘**为主，掘进期**日放炮4次左右**，实现快速智能剔除微震监测中的放炮数据，对于提高微震监测预警准确率意义重大。

- 对瓦斯浓度实时数据进行预处理后，首先进行**一阶差分运算**，消除数据波动，使瓦斯浓度变化特征规律更加明显；随后进行**卷积计算**，得到曲线波峰波谷与放炮事件对应关系；最后应用**Findpeaks函数**识别波峰波谷位置，得到**对应放炮、炮后瓦斯浓度峰值及其时刻**。



瓦斯浓度监测

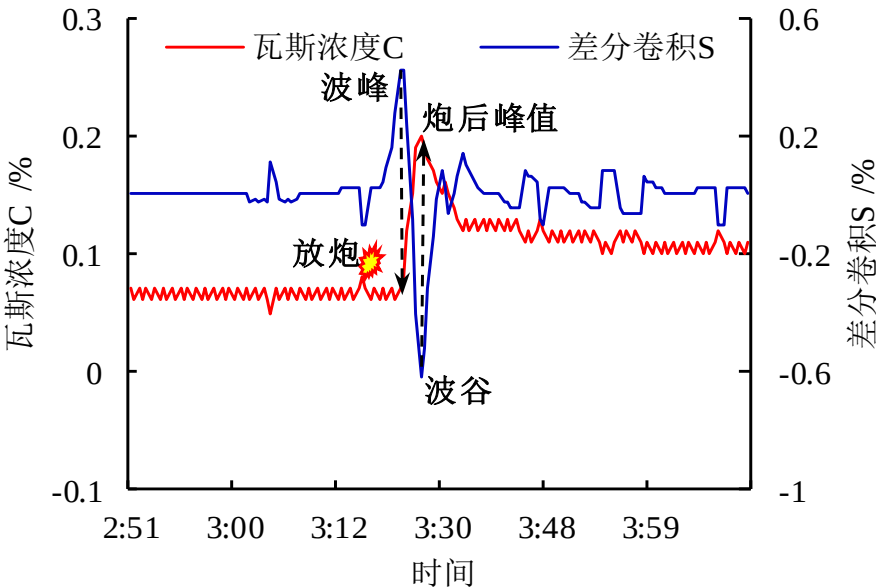


放炮事件自动识别步骤

创新成果一：基于CNN的放炮事件快速精准识别技术与突出危险智能预测方法

(1) 建立了基于瓦斯浓度实时数据的放炮事件自动识别算法

- 经过差分卷积的数据S中较为明显的波峰、波谷与瓦斯浓度数据C中的放炮、炮后峰值的位置对应良好，实现了对炮后瓦斯浓度差分卷积数据波峰、波谷进行精准有效的识别。



差分卷积数据与放炮事件对应关系

参数	数值
MinPeakHeight	0.2
MinPeakDistance	90.0
MinPeakProminence	0.3
MinPeakwidth	3.0

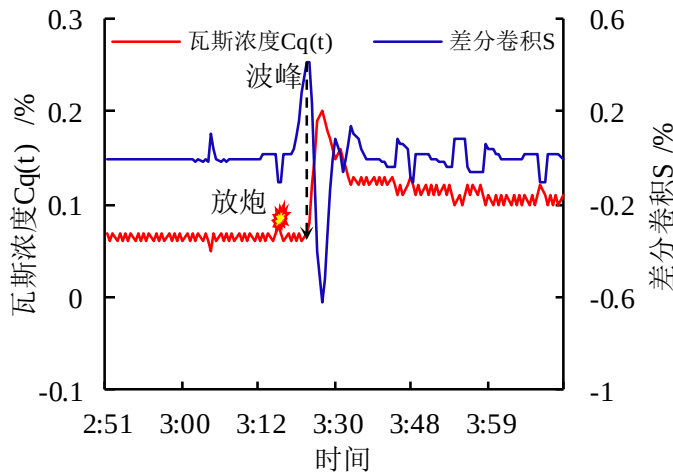
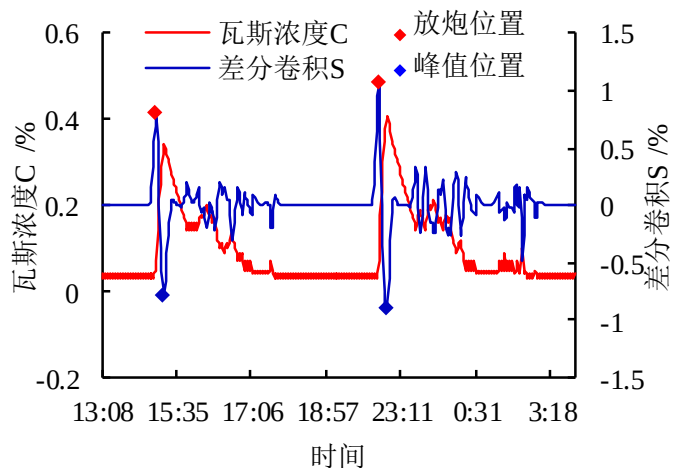
MATLAB/*findpeaks*函数参数

创新成果一：基于CNN的放炮事件快速精准识别技术与突出危险智能预测方法

(1) 建立了基于瓦斯浓度实时数据的放炮事件自动识别算法

放炮时间	炮后瓦斯浓度峰值时间	瓦斯浓度峰值	放炮登记时间
4月9日 15:30	4月9日 15:32	0.34%	4月9日 15:15
4月9日 22:35	4月9日 22:38	0.34%	4月9日 22:45
5月7号 03:17	5月7号 03:29	0.20%	5月7号 03:31

- 与人工登记相比，该方法**无需人工记录**，可以自动识别；
- 可识别提取出**炮后瓦斯浓度峰值及时刻**；
- **对放炮事件有效识别率在90%左右。**



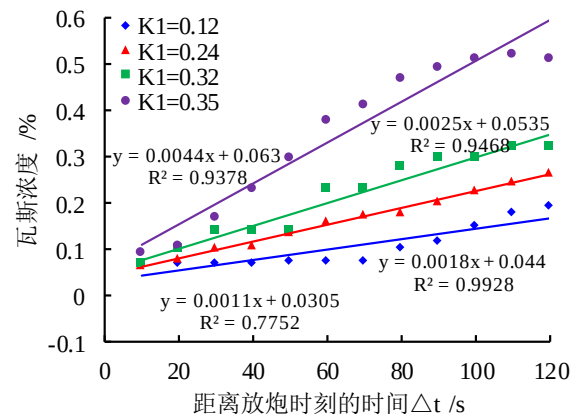
放炮事件自动识别结果

创新成果一：基于CNN的放炮事件快速精准识别技术与突出危险智能预测方法

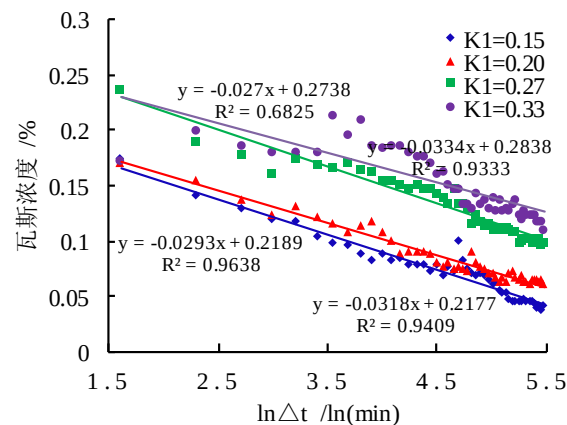
(2) 提出了基于CNN的煤层突出危险性的智能预测方法

□ 研究了炮后瓦斯涌出特征与K1值的相关性规律

- 发现放炮之后，瓦斯浓度达到**峰值之前**，瓦斯浓度呈近似线性增大趋势， K_1 值越大，炮后瓦斯浓度增长速率和峰值均越大；
- 炮后瓦斯浓度达到**峰值之后**，呈近似线性降低趋势， K_1 值越大，炮后瓦斯浓度衰减的速率越快，恢复至平稳值所需时间越长。



不同 K_1 值的炮后瓦斯浓度峰前特征



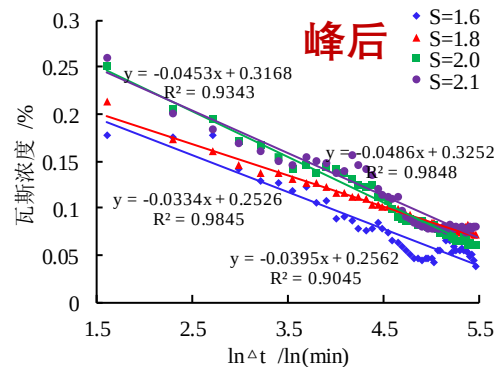
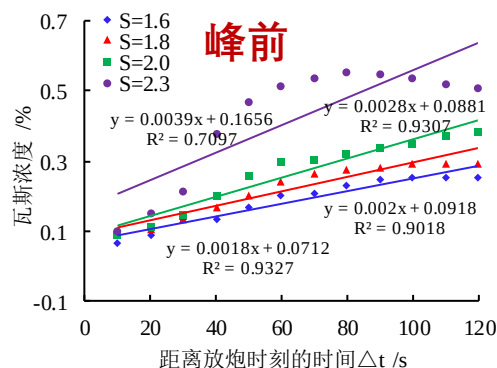
不同 K_1 值的炮后瓦斯浓度峰后特征

创新成果一：基于CNN的放炮事件快速精准识别技术与突出危险智能预测方法

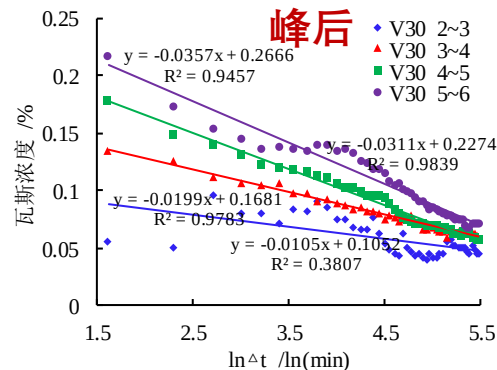
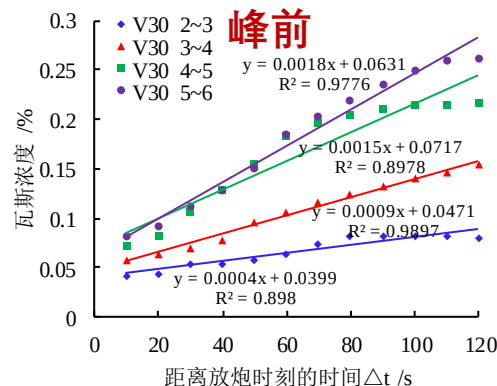
(2) 提出了基于CNN的煤层突出危险性的智能预测方法

研究了炮后瓦斯涌出特征与S值、 V_{30} 的相关性规律

- 发现放炮之后，瓦斯浓度达到峰值之前，S值、 V_{30} 越大，炮后瓦斯浓度增长速率和峰值均越大；
- 炮后瓦斯浓度达到峰值之后，S值、 V_{30} 越大越大，炮后瓦斯浓度衰减的速率越快，恢复至平稳值所需时间越长。



不同S值的炮后瓦斯浓度特征

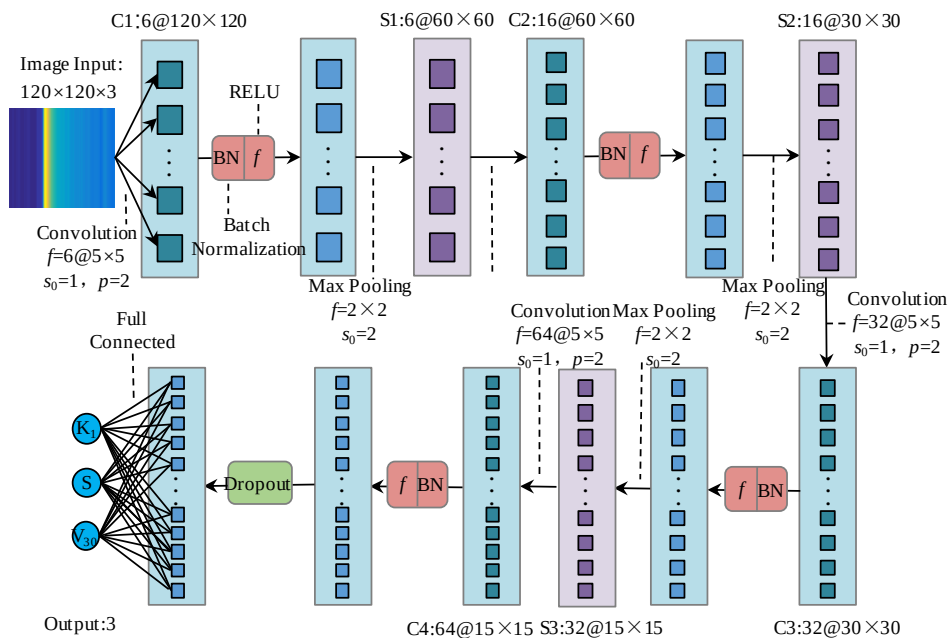


不同 V_{30} 值的炮后瓦斯浓度特征

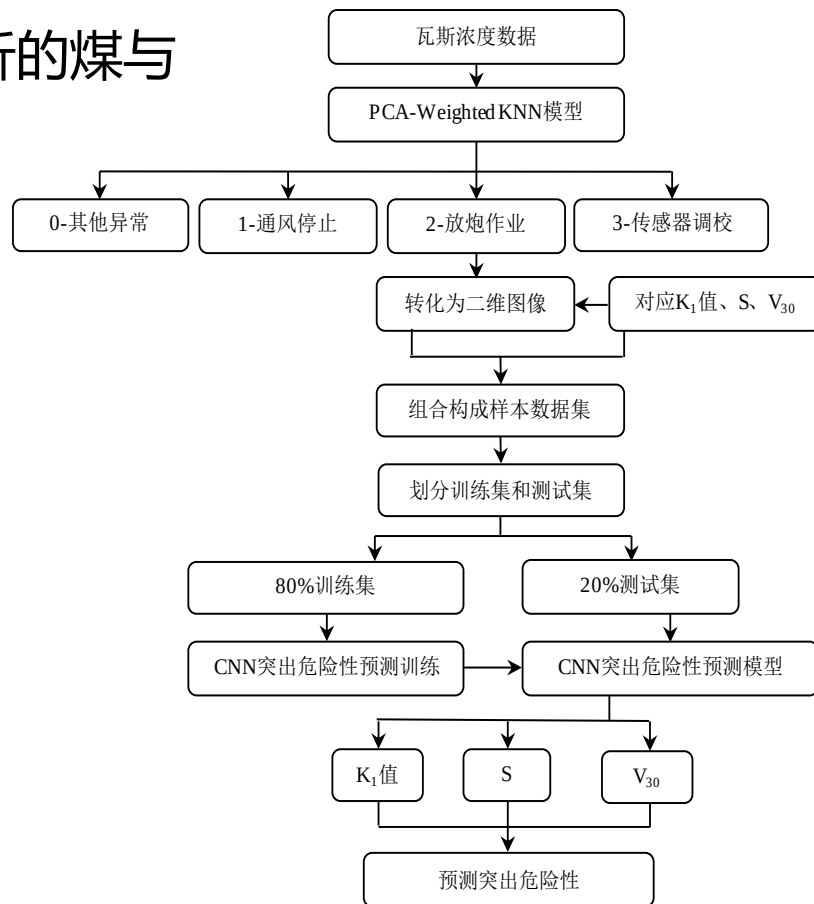
创新成果一：基于CNN的放炮事件快速精准识别技术与突出危险智能预测方法

(2) 提出了基于CNN的煤层突出危险性的智能预测方法

- 提出了基于卷积神经网络（CNN）分析的煤与瓦斯突出危险性预测模型与方法。



基于CNN的煤与瓦斯突出危险性预测模型

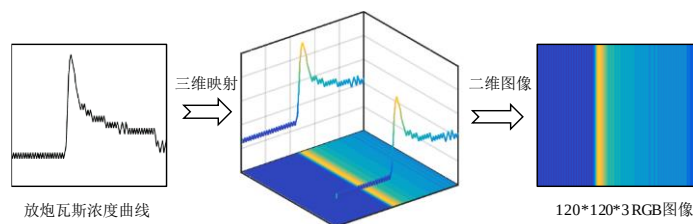


基于CNN的煤与瓦斯突出危险性预测方法

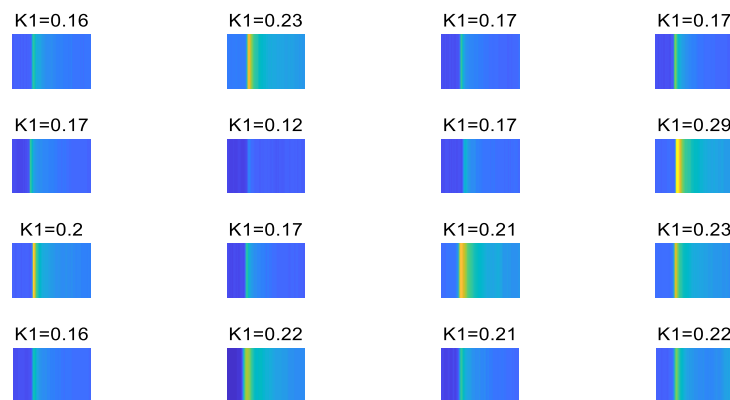
创新成果一：基于CNN的放炮事件快速精准识别技术与突出危险智能预测方法

(2) 提出了基于CNN的煤层突出危险性的智能预测方法

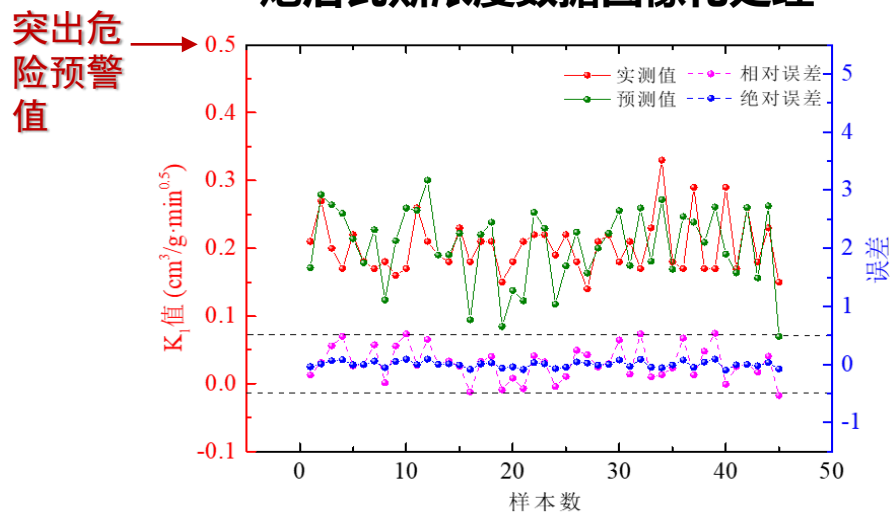
□ 开展了基于CNN的煤与瓦斯突出危险性预测验证，预测效果较好。



炮后瓦斯浓度数据图像化处理



基于CNN算法的突出指标智能识别



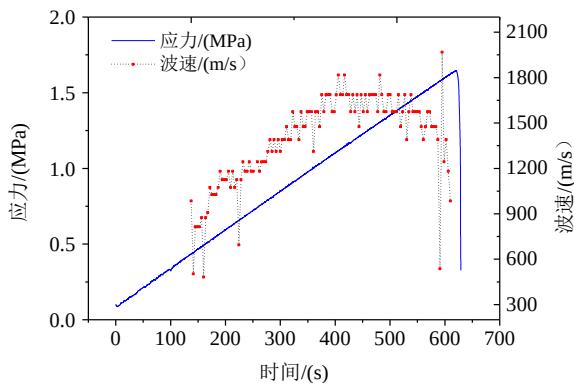
煤层突出危险性预测结果

建立的CNN模型收敛速度较快，拟合效果较好， K_1 、 S 、 V_{30} 的预测值和实测值的波动趋势基本吻合，误差较小且数值稳定。为煤与瓦斯突出危险性预测提供了新思路。

创新成果二：突出矿井采区地质异常体动态监测、区域应力场动态反演和突出危险区域可视化预测技术方法

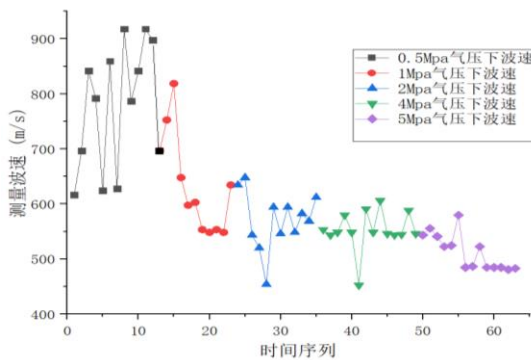
(1) 研究建立了纵波波速与应力、气体压力的耦合关系模型

- 实验测试了突出煤样纵波波速与应力、瓦斯压力的关系，建立了纵波波速与应力和气体压力耦合关系模型。
- 瓦斯压力对纵波波速的影响约为应力对纵波波速影响的10%，充气气压对纵波传播速度大小的影响较小，应力变化是引起纵波波速变化的主要因素。



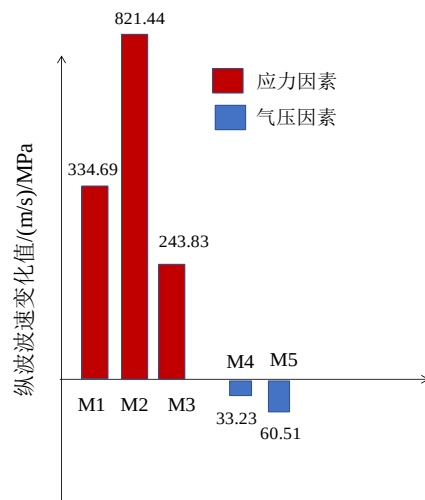
突出煤单轴压缩过程波速

V_p 与 σ 耦合模型： $V_p = \eta \sigma^\xi$
其中： η 、 ξ 为拟合参数。



突出煤充放气过程波速变化规律

V_p 与 p 耦合模型： $V_p = \alpha p^\beta$
其中： α 、 β 为拟合参数。

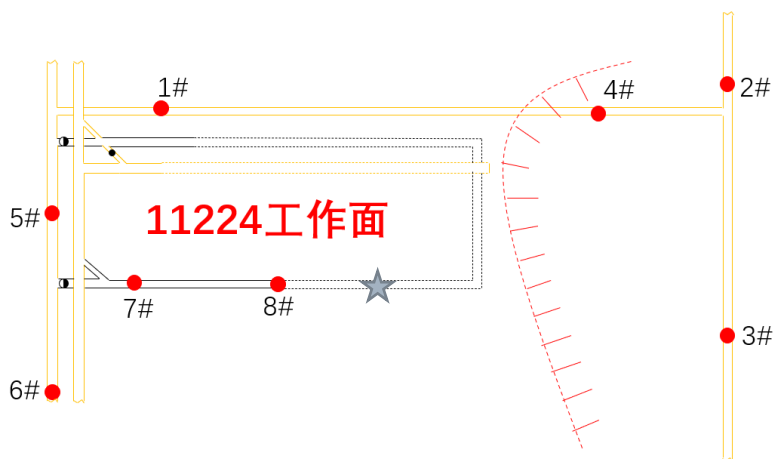


纵波波速受应力与气压的影响百分比

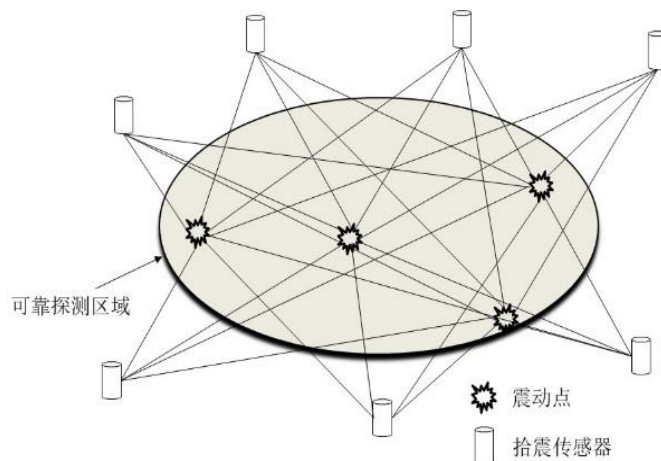
创新成果二：突出矿井采区地质异常体动态监测、区域应力场动态反演和突出危险区域可视化预测技术方法

(2) 现场微震监测系统布置与区域应力场探测原理

- 在试验11224工作面的周围布置了8个拾震传感器，对11224工作面成立体包围，监测试验工作面区域的微震事件。
- 区域应力场CT探测原理是根据各个拾震传感器接收到震动波的初至旅行时间数据来反演该剖面的速度分布 $V(x, y)$ ，由速度分布特征反映应力场分布特征。



金佳矿微震传感器布置示意图

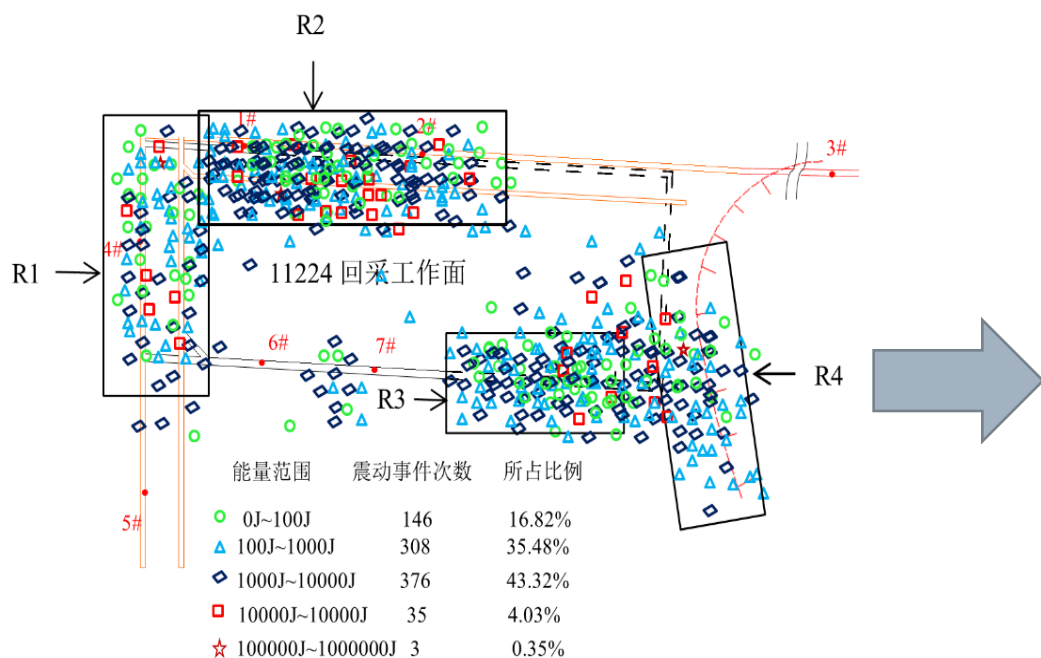


震动波CT探测应力场的原理示意图

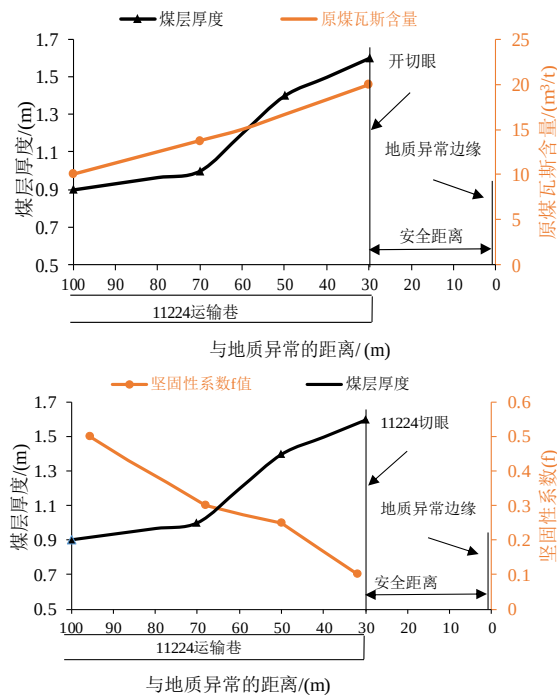
创新成果二：突出矿井采区地质异常体动态监测、区域应力场动态反演和突出危险区域可视化预测技术方法

(3) 得出了采掘过程微震事件空间分布特征

- 11224工作面现场应用表明，微震事件主要集中在煤柱影响区（R1）、回风巷扰动区（R2），运输巷扰动区（R3）和构造影响区（R4）。



微震信号的空间分布特征

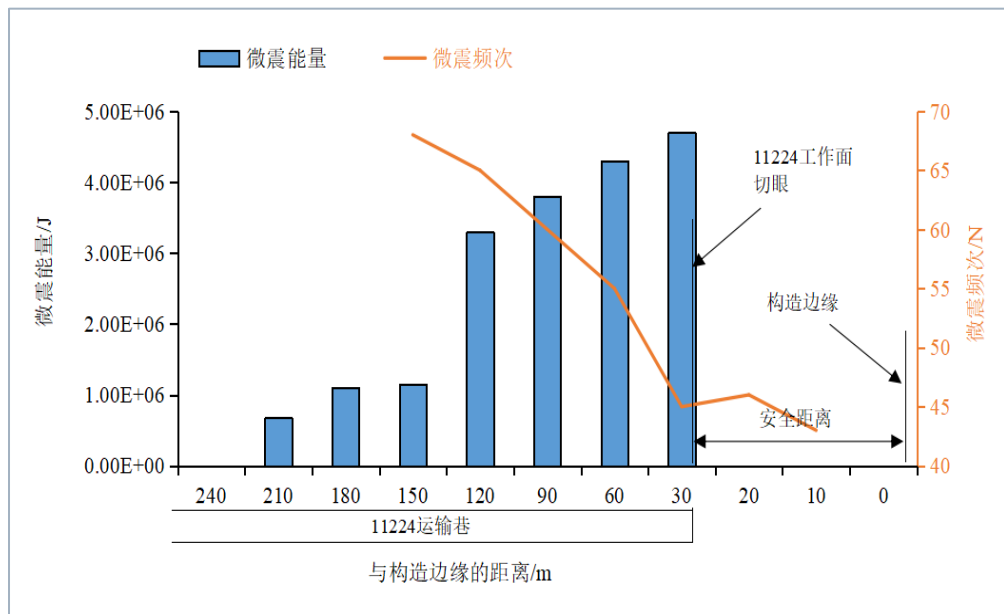
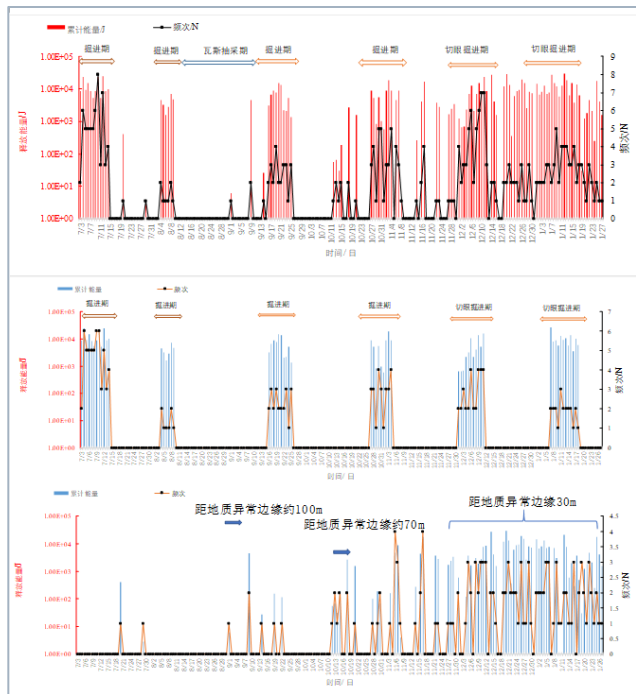


R4构造区煤层瓦斯参数变化特征

创新成果二：突出矿井采区地质异常体动态监测、区域应力场动态反演和突出危险区域可视化预测技术方法

(4) 揭示了地质构造区域微震事件的时序分布特征

- 运输巷迎头掘进至距离构造边缘100 m~120 m开始时，微震频次、能量等时序指标开始对地质异常产生响应；
- 构造区域内的微震指标会出现逐渐增大过程，这可对提前定位地质异常区，判定突出危险区域提供依据。

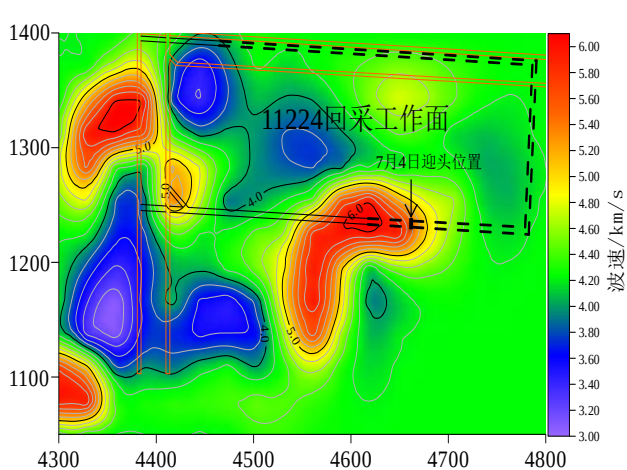


构造区附近微震事件频次释放能量

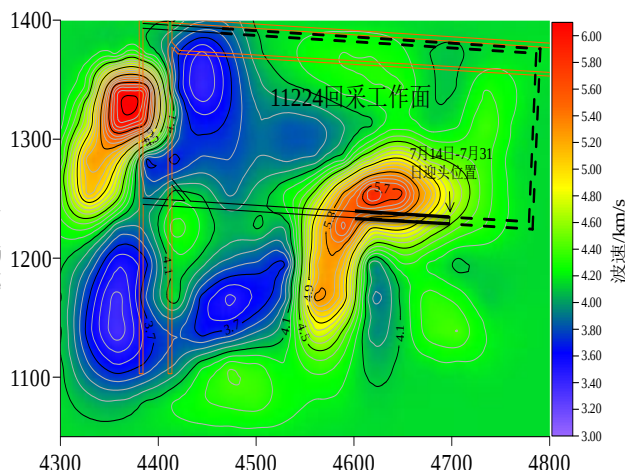
创新成果二：突出矿井采区地质异常体动态监测、区域应力场 动态反演和突出危险区域可视化预测技术方法

(5) 揭示了掘进过程区域应力场的动态演化特征

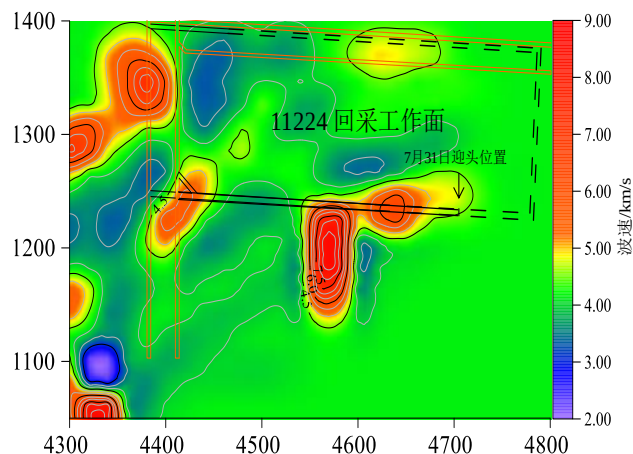
- 掘进头周围采掘扰动较大，纵波波速值普遍大于煤层原始应力区波速值；
- 掘进工作面后方顶底板围岩的集中应力无论是大小还是作用范围都明显大于工作面前方。



(a) 6月18日-7月3日 (抽采)



(b) 7月4日-7月14日 (掘进)



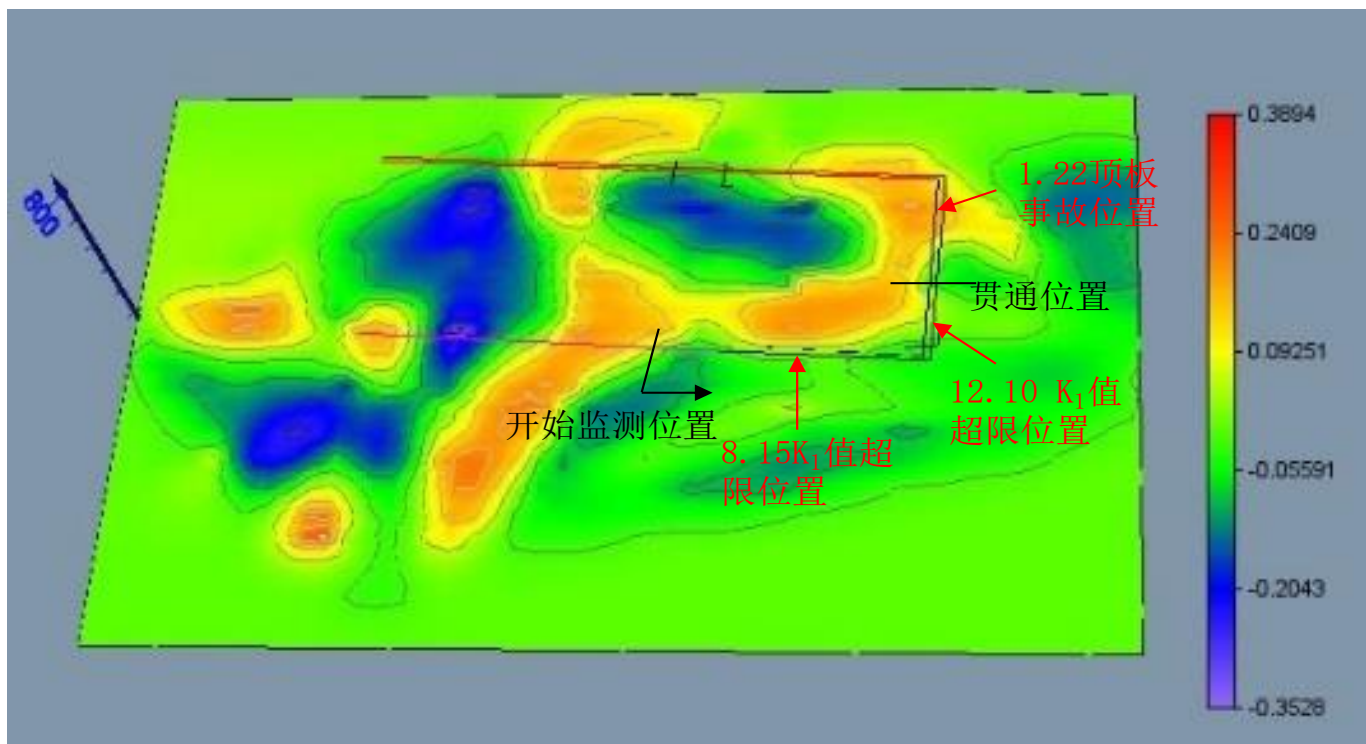
(c) 7月15日-8月4日 (抽采)

11224工作面区域应力场反演云图

创新成果二：突出矿井采区地质异常体动态监测、区域应力场动态反演和突出危险区域可视化预测技术方法

(6) 突出危险区域可视化预测结果

- 巷道掘进煤与瓦斯突出预兆事件、顶板动力显现事件均位于CT探测得到的应力集中区、高应力梯度区域。

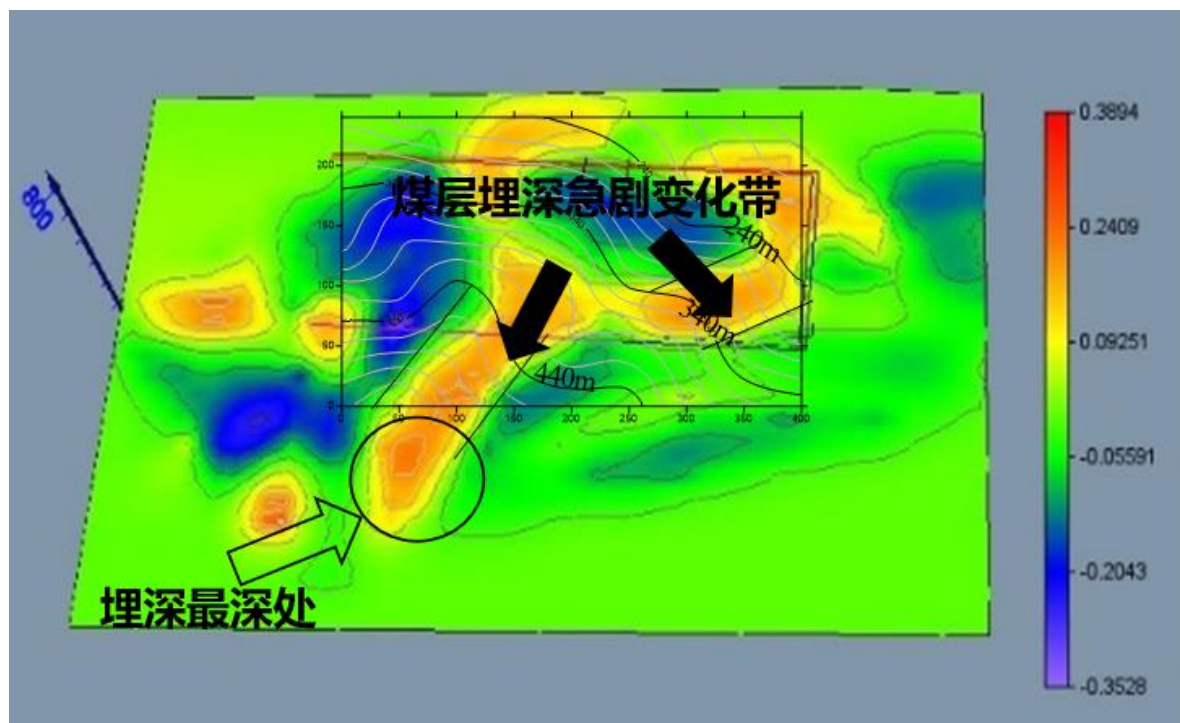


工作面区域应力场与突出预兆事件空间位置对比图

创新成果二：突出矿井采区地质异常体动态监测、区域应力场动态反演和突出危险区域可视化预测技术方法

(6) 突出危险区域可视化预测结果

- 基于震动波CT探测得到的区域应力场的应力集中带与煤层埋深急剧变化带、煤层埋深相吻合，验证了区域应力场探测的准确性。

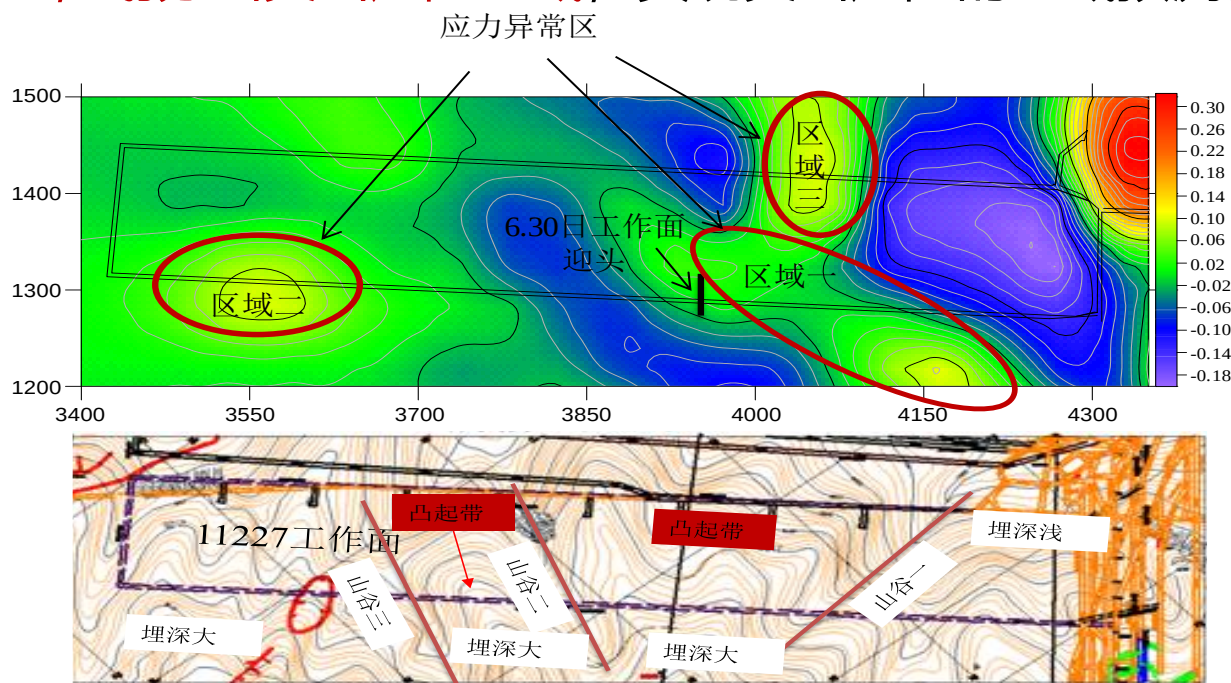


区域应力场与煤层埋深等高线对比图

创新成果二：突出矿井采区地质异常体动态监测、区域应力场动态反演和突出危险区域可视化预测技术方法

(6) 突出危险区域可视化预测结果

- 通过震动波CT对工作面区域应力场进行探测，得到工作面区域应力场分布特征。
- 基于微震动态监测与区域应力场CT技术，能够有效探测区域应力异常区，划分出突出危险区域，实现突出危险的区域预测。

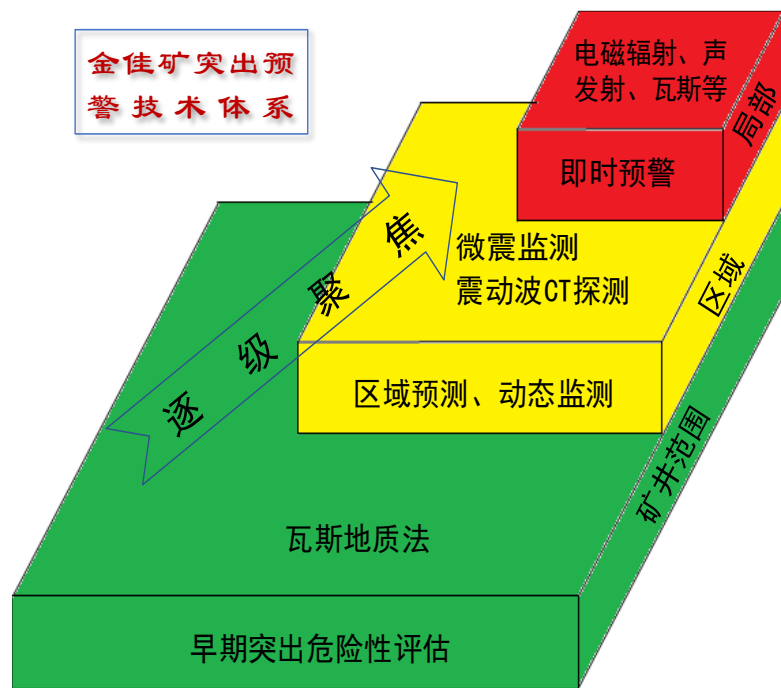


工作面应力场CT探测结果与煤层埋深的对比

创新成果三：构建了煤层突出危险区域-局部逐级聚焦式多参量集成探测预警技术体系与方法

(1) 提出了突出危险逐级聚焦式多参量集成探测预警技术架构

- 矿井范围内突出危险性评估主要利用**瓦斯地质法**，依据地质勘探时期煤层瓦斯基础资料，新建矿井时期煤层突出危险性评估资料，在建或生产矿井进行的突出危险性鉴定资料等；
- 应用**微震和震动波CT技术**对重点区域进行**动态连续长时监测与应力场探测**，确定危险区域和安全区域；
- 在区域预测基础上，局部预警通过集成**电磁辐射、声发射、瓦斯涌出量**等多参量进行**即时预警**。



突出危险逐级聚焦式多参量集成监测预警技术

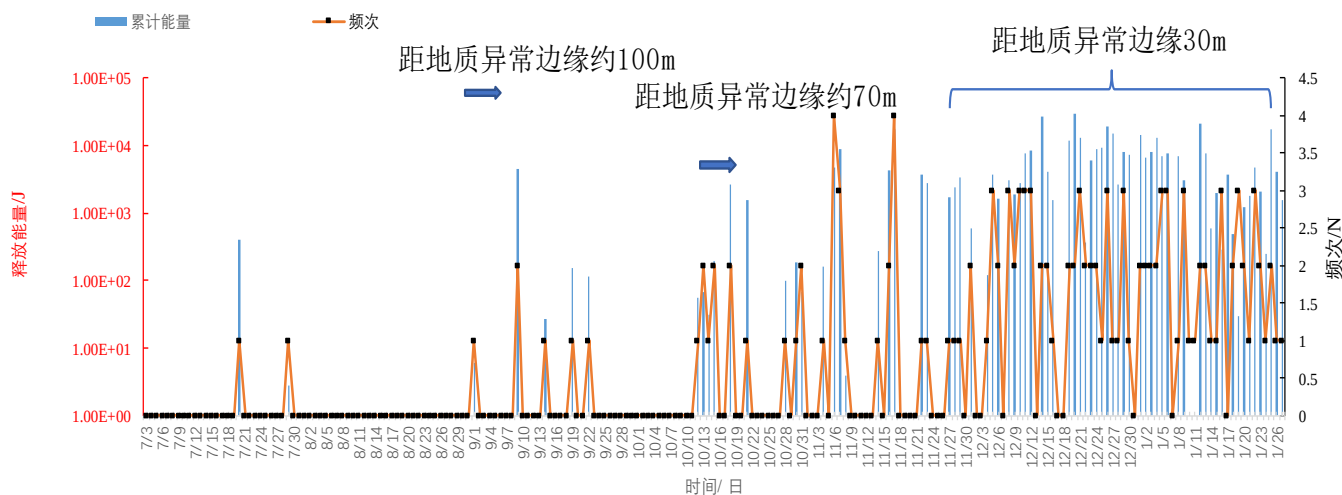
创新成果三：构建了煤层突出危险区域-局部逐级聚焦式多参量集成探测预警技术体系与方法

(2) 提出了突出危险区域微震动态预测方法

□ 地质异常区预测准则——微震频次

把巷道放炮引起的微震事件排除之后，可以得到自然震源微震事件，通过频次判断地质异常区。

自然震源微震事件数	区域预测
连续3天均可监测1次及以上	地质构造区
连续3天平均每天为2次及以上	地质异常区



11224运输巷迎头区域自然微震事件频次、能量变化图

创新成果三：构建了煤层突出危险区域-局部逐级聚焦式多参量集成探测预警技术体系与方法

(2) 提出了突出危险区域微震动态预测方法

□ 强采掘扰动区预测准则——微震能量

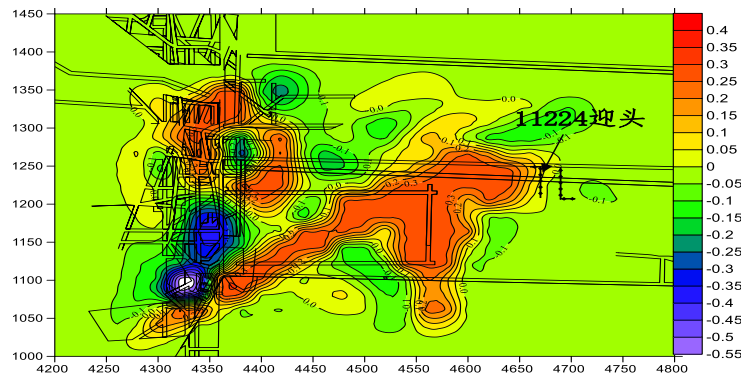
通过对自然震源微震事件的能量值进行分析，判断地质异常区。

掘进头位置100m范围内	自然震源微震事件能量	区域预测
	单次微震能量在 $0 \sim 10^3 \text{J}$ 之间且日累计微震能量小于 10^4J	地质构造区
	单次微震能量大于 $2 \times 10^3 \text{J}$ 或日累计微震能量大于 $5 \times 10^4 \text{J}$	地质异常区

□ 应力集中区预测准则——纵波波速

选取波速正（负）异常指标 A_n 和波速变化梯度异常指标 V_G 作为划分应力集中区的指标。

当 $A_n > 10$ ，或 $A_n < -10$ ，或 $V_G > 10$ 时，该区域为应力集中区。

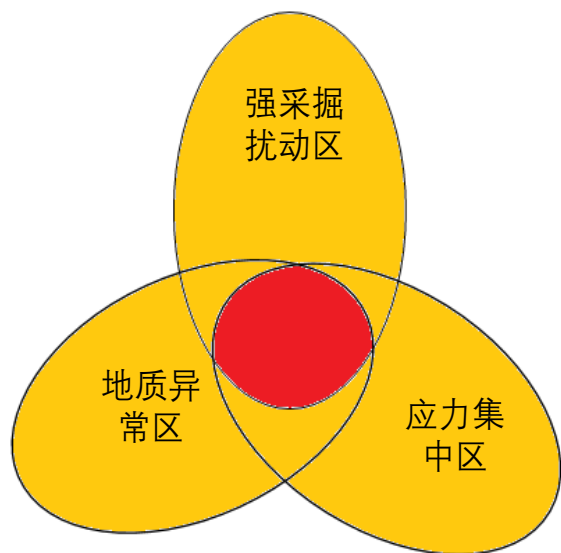


11224工作面区域应力场反演云图

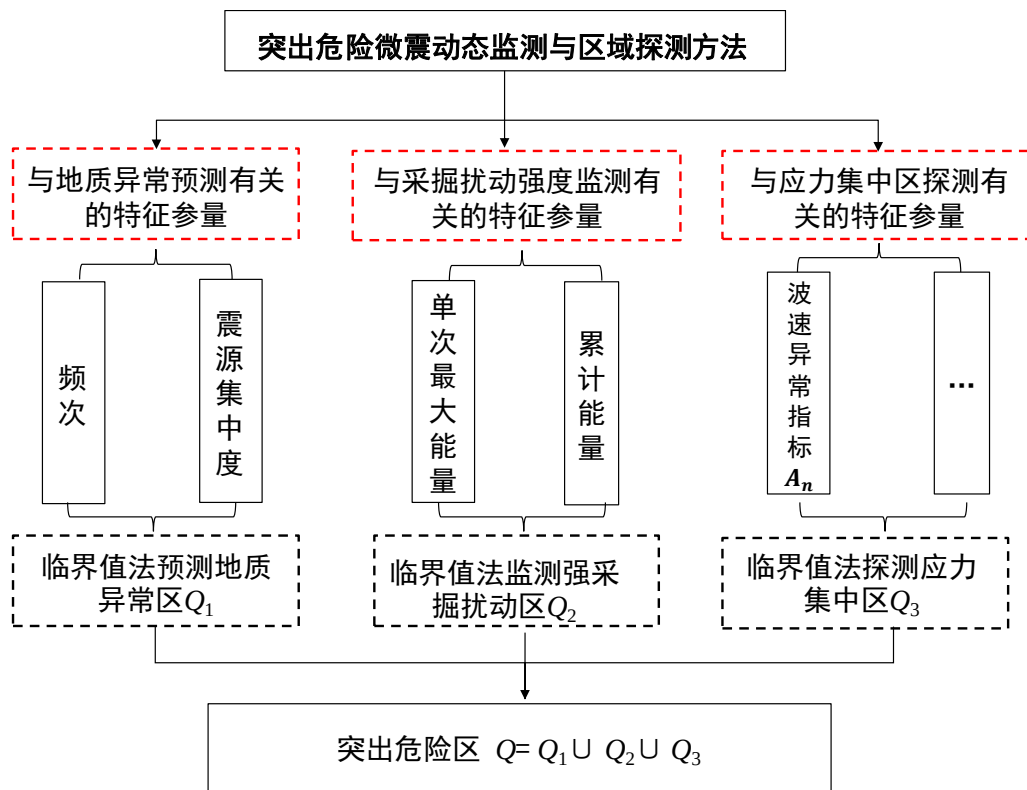
创新成果三：构建了煤层突出危险区域-局部逐级聚焦式多参量集成探测预警技术体系与方法

(2) 提出了突出危险区域微震动态预测方法

- 预测的煤与瓦斯突出危险区 Q 包括地质异常区 Q_1 、强采掘扰动区 Q_2 和应力集中区 Q_3 三部分。



Q_1 、 Q_2 、 Q_3 空间位置关系示意



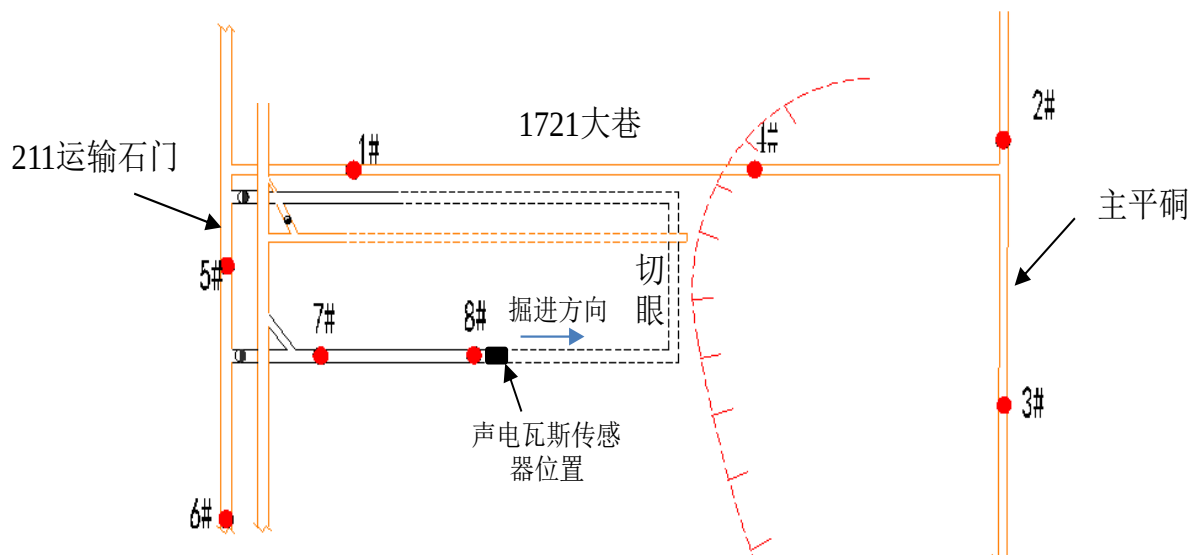
突出危险的区域预测方法

创新成果三：构建了煤层突出危险区域-局部逐级聚焦式多参量集成探测预警技术体系与方法

(3) 研究揭示了局部预警指标对突出危险的响应规律

□ 声电监测系统布置

声电瓦斯传感器均安装在距11224运输巷迎头15~20 m范围内的巷道内。其中，电磁辐射、瓦斯传感器悬挂至巷道中间，声发射传感器利用特定的夹具来固定在主机附件的锚杆上，并随巷道迎头掘进而向前推进。



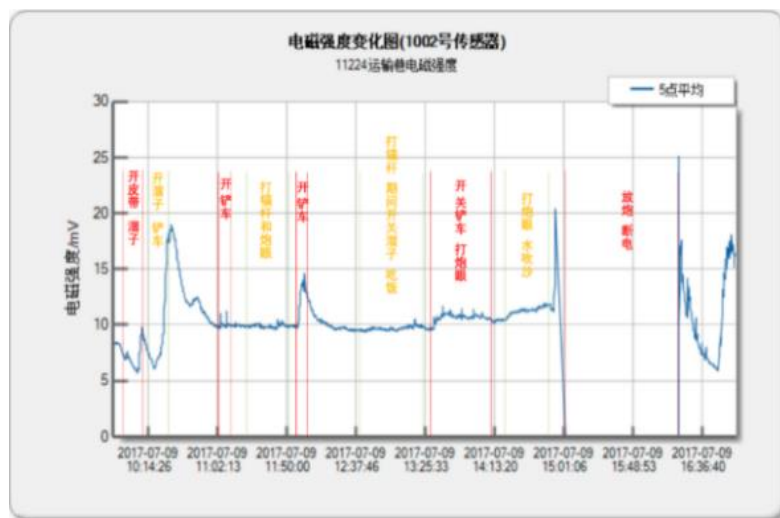
11224运输巷声电瓦斯传感器布置位置

创新成果三：构建了煤层突出危险区域-局部逐级聚焦式多参量集成探测预警技术体系与方法

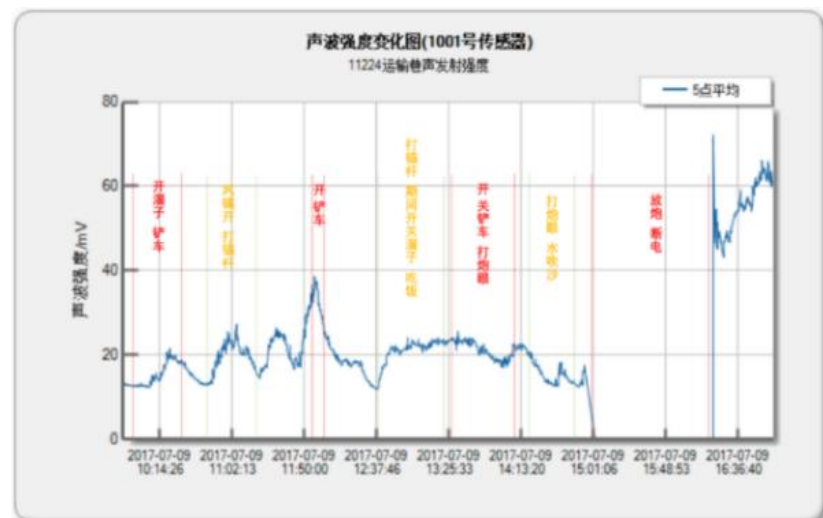
(3) 研究揭示了局部预警指标对突出危险的响应规律

□ 声电监测干扰信号分析

典型作业工序会对声电信号产生影响，通过记录完整工作班的作业工序发现，开铲车工序对电磁辐射信号的影响最为强烈，打锚杆、打炮眼、风泵开关等各作业工序对声电信号有一定的影响。



(a) 电磁辐射强度特征



(b) 声发射强度特征

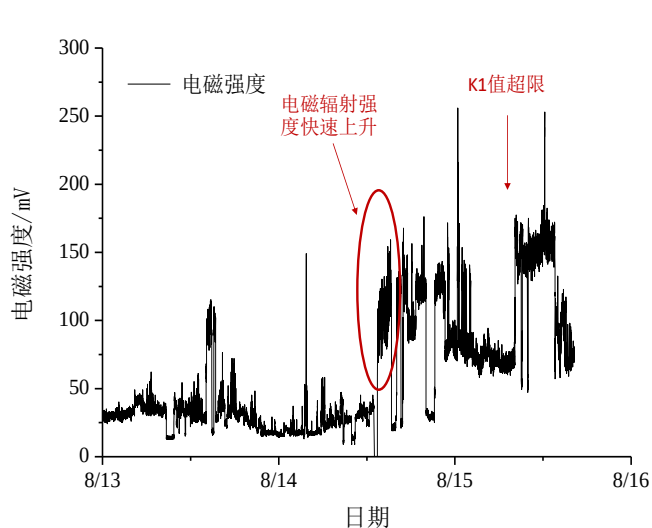
跟班时段声电信号变化特征

创新成果三：构建了煤层突出危险区域-局部递进聚焦式多参量集成监测预警技术体系与方法

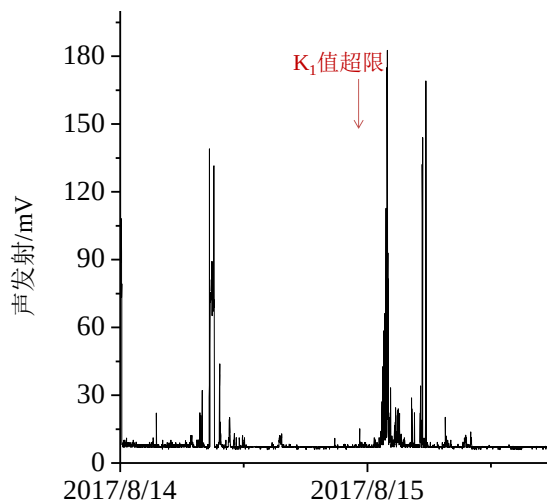
(3) 研究揭示了局部预警指标对突出危险的响应规律

➤ 8.15 K_1 值超限事件电磁辐射强度、声发射强度、瓦斯浓度响应规律

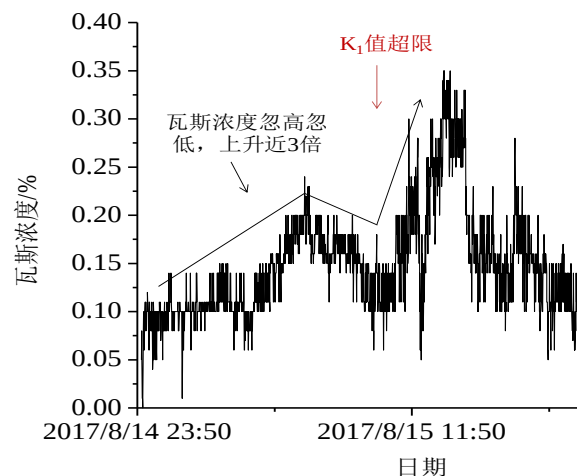
电磁辐射在8月14日即出现了快速增长，幅值基值由90mV左右上升至150mv左右，上升约**1.7倍**；巷道瓦斯浓度由0.1%上升到0.35%，瓦斯浓度增加**3.5倍**。8月14日、8月15日声发射信号出现剧烈波动，幅值上升**10倍以上**。



电磁辐射强度值



声发射强度值

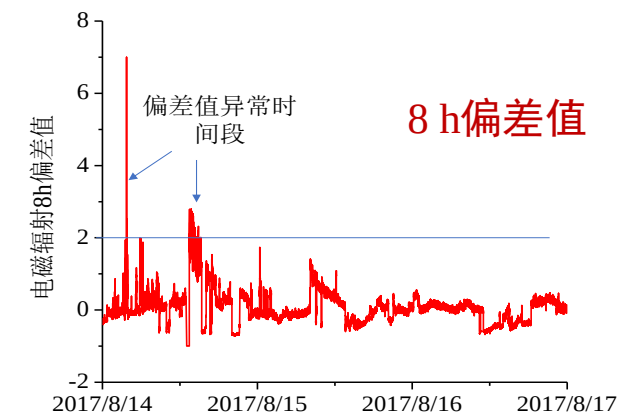


瓦斯浓度变化值

创新成果三：构建了煤层突出危险区域-局部逐级聚焦式多参量集成探测预警技术体系与方法

(3) 研究揭示了局部预警指标对突出危险的响应规律

➤ 8.15 K_1 值超限事件电磁辐射偏差值响应特征规律

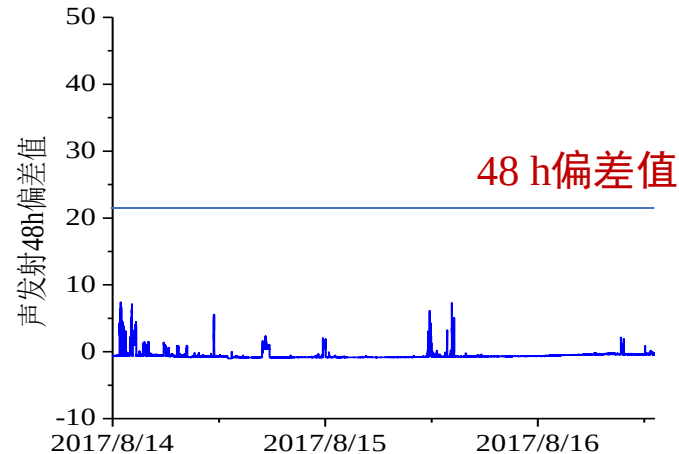
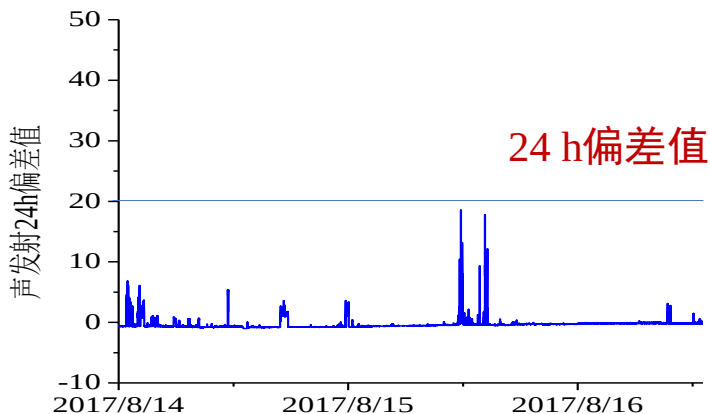
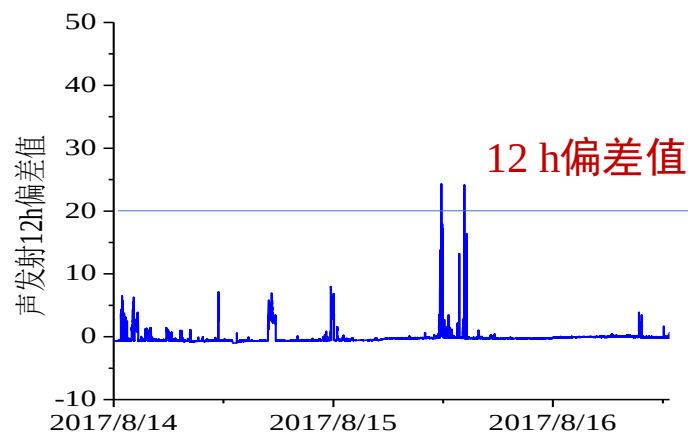
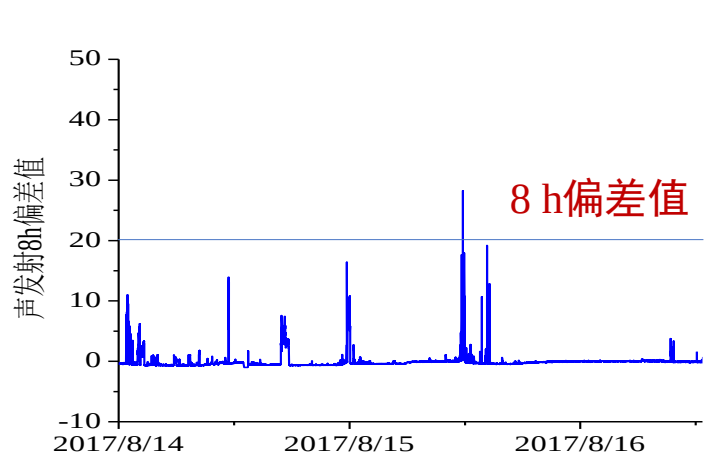


电磁辐射偏差值响应特征

创新成果三：构建了煤层突出危险区域-局部逐级聚焦式多参量集成探测预警技术体系与方法

(3) 研究揭示了局部预警指标对突出危险的响应规律

➤ 8.15 K_1 值超限事件声发射偏差值响应特征



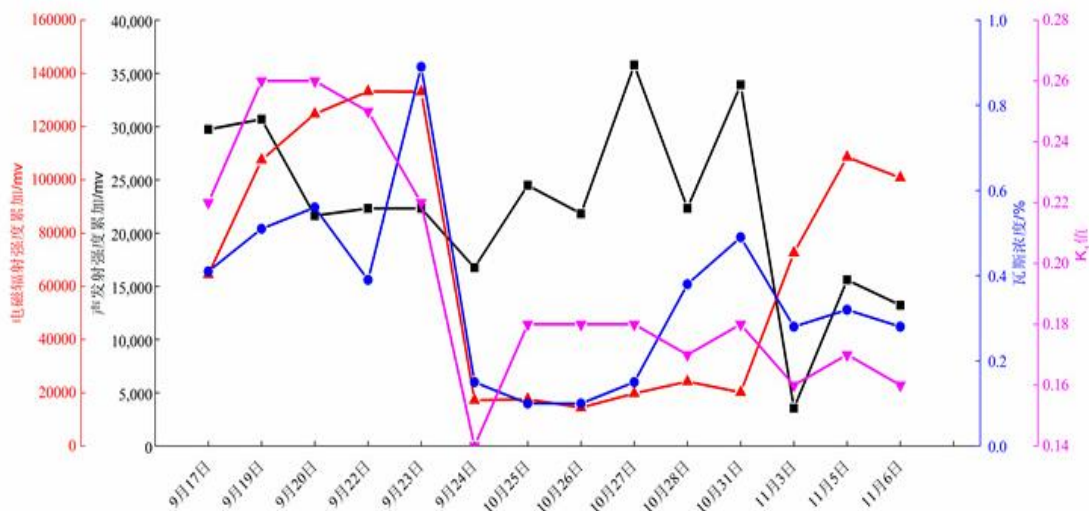
声发射偏差值响应特征

创新成果三：构建了煤层突出危险区域-局部逐级聚焦式多参量集成探测预警技术体系与方法

(3) 研究揭示了局部预警指标对突出危险的响应规律

□ 声电瓦斯信号与 K_1 值的相关性

运用SPSS软件的两两相关性分析结果，得到声发射强度和 K_1 值之间的相关性水平为低度相关；电磁强度以及瓦斯浓度和 K_1 值之间的相关性水平为显著相关；在进行煤与瓦斯突出多参量预警模型的建设中可以着重的考虑电磁辐射、瓦斯浓度的权重。



声-电-瓦斯- K_1 值相关性分析

创新成果三：构建了煤层突出危险区域-局部逐级聚焦式多参量集成探测预警技术体系与方法

(4) 提出了煤层突出危险局部实时监测预警指标与特征参量

局部监测特征参量主要包括声发射、电磁辐射、瓦斯浓度；预警指标包括临界指标和趋势指标。

□ 电磁辐射指标特征参量

电磁辐射强度值 E_e ；

电磁辐射趋势预警指标 A_e ，反映电磁信号信号上升或者下降幅度大小。

$$A_e = \frac{V_2 - V_1}{\Delta t}$$

式中： V_2 ——当前时间点前3分钟内的电磁辐射强度平均值；

V_1 —— Δt 时间前的3分钟电磁辐射强度的平均值。

Δt ——可设置参数，取值范围30分钟至15天。

电磁辐射强度24 h偏差值 D_E ；

偏离异常时间 h 。

定义电磁辐射24 h偏差值 ≥ 0.5 为偏离异常。偏离异常持续时间 h 为偏差值 D_e 连续 ≥ 0.5 的时间段。

$$h = t_1 - t_0$$

创新成果三：构建了煤层突出危险区域-局部逐级聚焦式多参量集成探测预警技术体系与方法

(4) 提出了煤层突出危险局部实时监测预警指标与特征参量

□ 声发射指标特征参量

声发射强度值 E_a ;

声发射趋势预警指标 A_a ，反映声发射强度上升或者下降幅度大小。

$$A_a = \frac{|V_2 - V_1|}{\Delta t}$$

式中： V_2 ——当前时间点前3分钟声发射强度的平均值；
 V_1 —— Δt 时间前的3分钟声发射强度的平均值；
 Δt ——可设置参数，取值范围30分钟至15天。

声发射强度12h偏差值 D_A ;

声发射偏离异常频次 N 。

声发射强度12h偏差值 ≥ 20 时定义为偏离异常。偏离异常频次 N 为在12小时内声发射强度偏离 ≥ 20 的次数累计值。

$$N = \sum Q$$

式中： $\sum Q$ ——12 h内声发射强度偏差值 ≥ 20 的次数累计值。

创新成果三：构建了煤层突出危险区域-局部逐级聚焦式多参量集成探测预警技术体系与方法

(4) 提出了煤层突出危险局部实时监测预警指标与特征参量

□ 瓦斯指标特征参量

瓦斯浓度；

绝对瓦斯涌出量 Q ，反映声发射强度上升或者下降幅度大小。

$$Q = q \times v \times s$$

式中： Q ——巷道绝对瓦斯涌出量， m^3/min ；

q ——瓦斯浓度，%；

v ——巷道风速， m/s ；

s ——巷道断面面积，单位 m^2 。

瓦斯涌出变化率 I 。

瓦斯涌出变化率 I 为一定时间内瓦斯涌出量的变化量与该时间段内平均瓦斯涌出量的比值。

$$I = \frac{X_t - A(n)_t}{A(n)_t}$$

式中： X_t —— t 时刻的瓦斯涌出量

N ——时间长度，取3分钟；

X_t ——瓦斯浓度 $C \times$ 风速 $v \times$ 巷道断面面积；

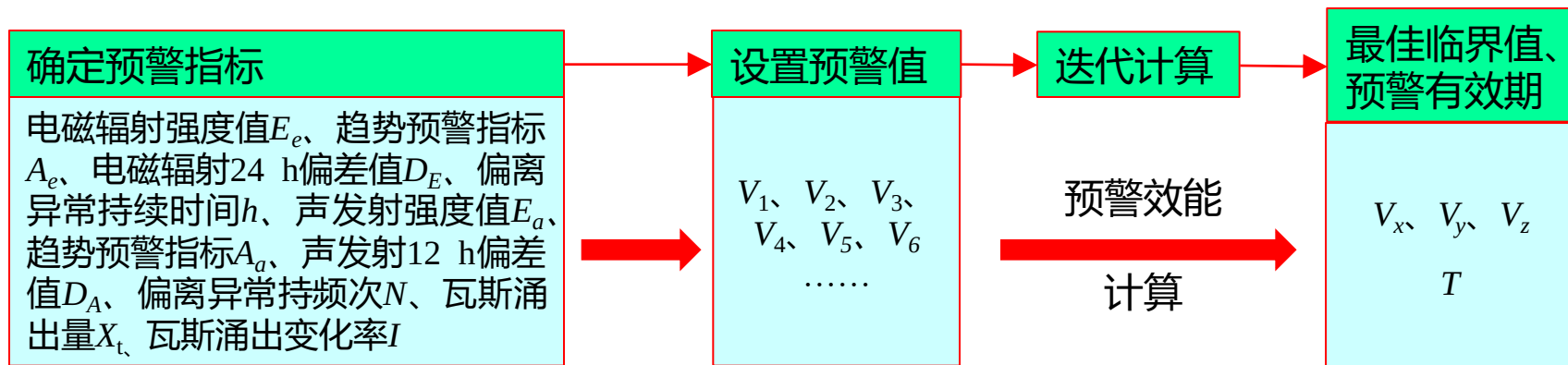
$A(n)_t$ —— t 时刻前 n 时间长度的平均瓦斯涌出量。

创新成果三：构建了煤层突出危险区域-局部逐级聚焦式多参量集成探测预警技术体系与方法

(5) 建立了突出危险局部多参量集成监测预警方法

遗传算法是将要解决的问题模拟成一个生物进化过程的方法，通过复制、交叉、突变等操作产生下一代的解，并逐步淘汰掉适应度函数值低的解，增加适应度函数值高的解，直到得到适应度函数值很高的个体。

在确定预警特征参量临界值的时候，利用遗传算法自动计算电磁辐射、声发射、瓦斯等数据的不同特征参量在不同预警值的情况下的预警效能 R ，通过迭代计算，选择 R 值最大的预警值及有效期，作为最佳临界值和预警有效期。

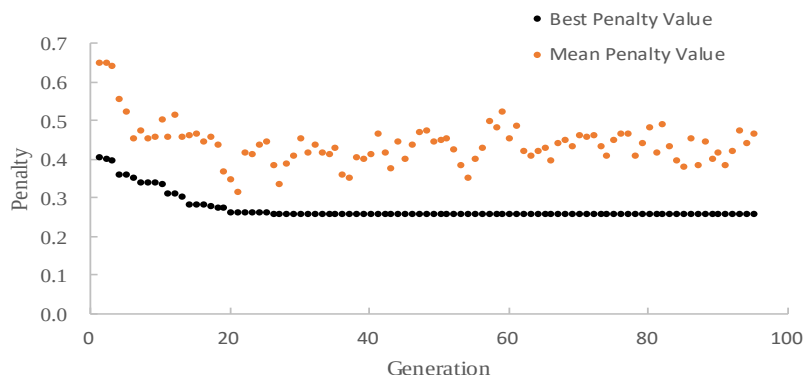


最佳预警值的遗传算法迭代过程

创新成果三：构建了煤层突出危险区域-局部逐级聚焦式多参量集成探测预警技术体系与方法

(5) 建立了突出危险局部多参量集成监测预警方法

- 通过遗传算法对监测的数据进行机器学习，优选获得各特征参量的预警临界值，并计算出预警效能 R 。选出每类特征参量中 R 值较大的2个特征参量作为集成预警模型的特征参量。
 - 建立预警程度 w 作为各监测预警指标；
 - 当特征参量大于临界值时，预警程度 w 加1（ w 初始值为1）；
 - w 值等于特征参量个数时进行预警，预警有效期为 T 。



遗传算法迭代过程

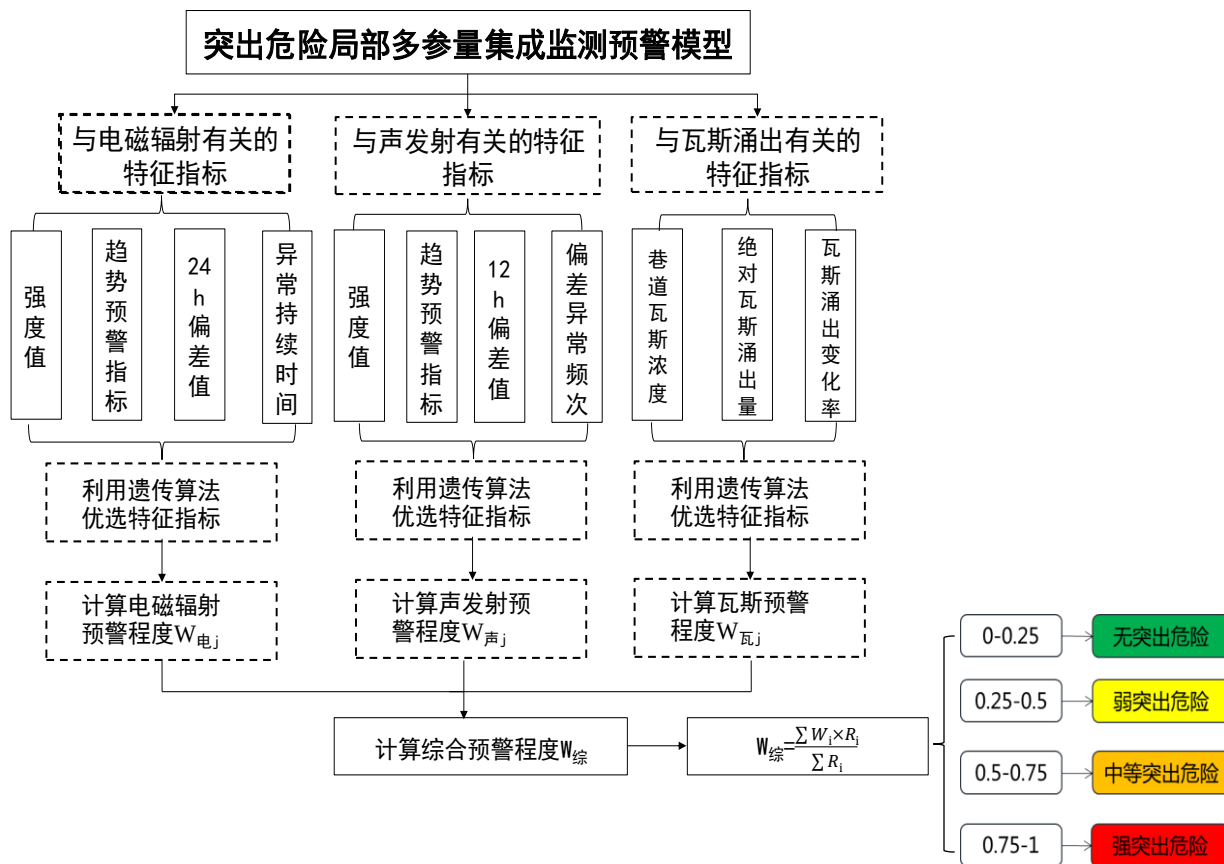
监测系统	金佳矿优选特征参量	临界值
电磁辐射	24 h强度偏差值	0.82
	偏离异常持续时间	30.68 min
声发射	12 h偏差值	20
	12 h偏差值偏离异常频次	3
瓦斯	瓦斯涌出量	18
	瓦斯涌出变化率	2

遗传算法迭代优选的特征参量及临界值

创新成果三：构建了煤层突出危险区域-局部逐级聚焦式多参量集成探测预警技术体系与方法

(5) 建立了突出危险局部多参量集成监测预警方法

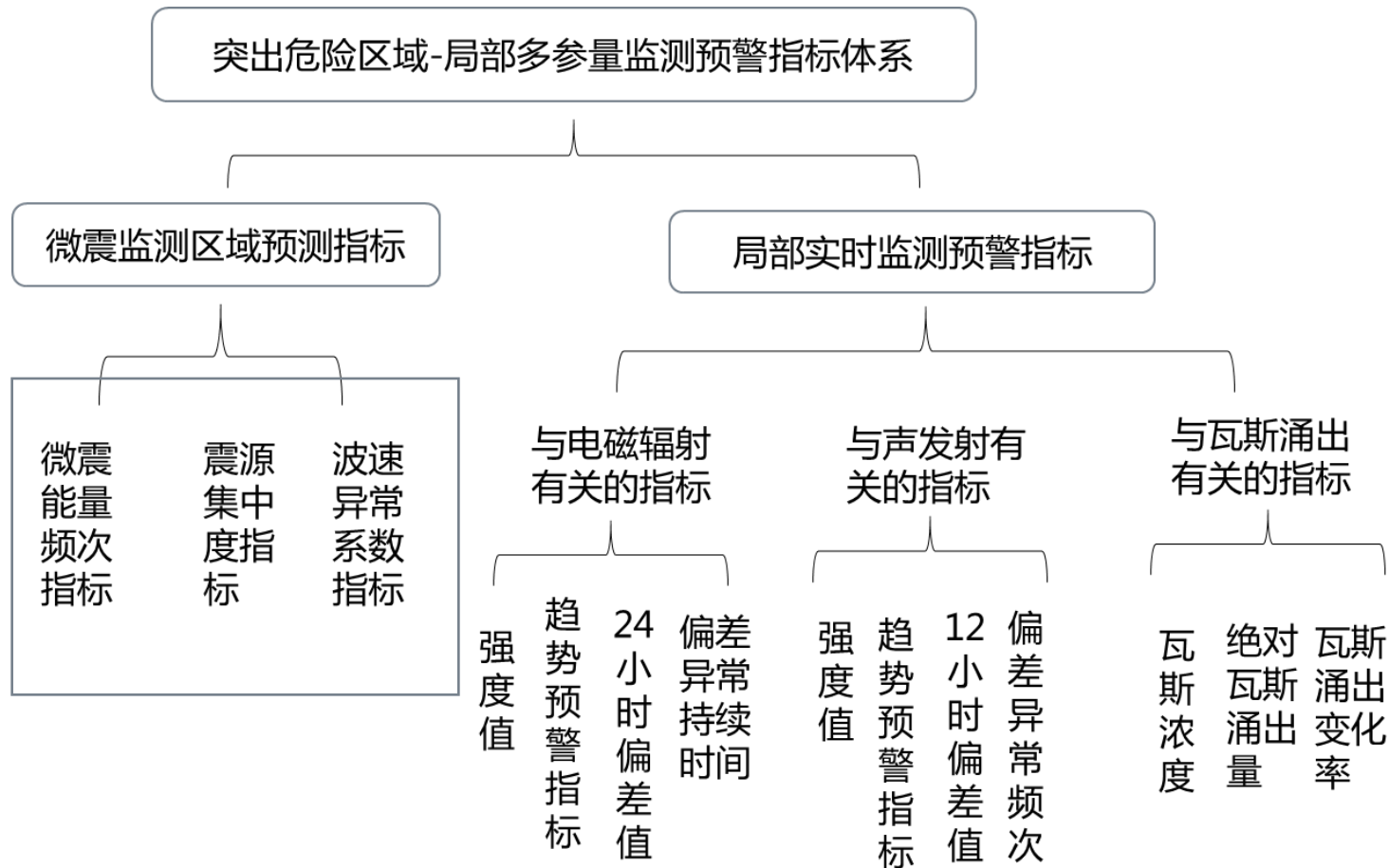
□ 采用遗传算法深入学习11224运输巷掘进过程数据并优化得到了声、电、瓦斯系统预警指标及预警临界值，通过模型组合的方式构成了单系统预警模型，通过结果组合的方式构成多参量集成预警模型。



突出危险的局部多参量集成监测预警模型

创新成果三：构建了煤层突出危险区域-局部逐级聚焦式多参量集成探测预警技术体系与方法

(6) 提出了突出危险区域-局部多参量集成探测预警方法

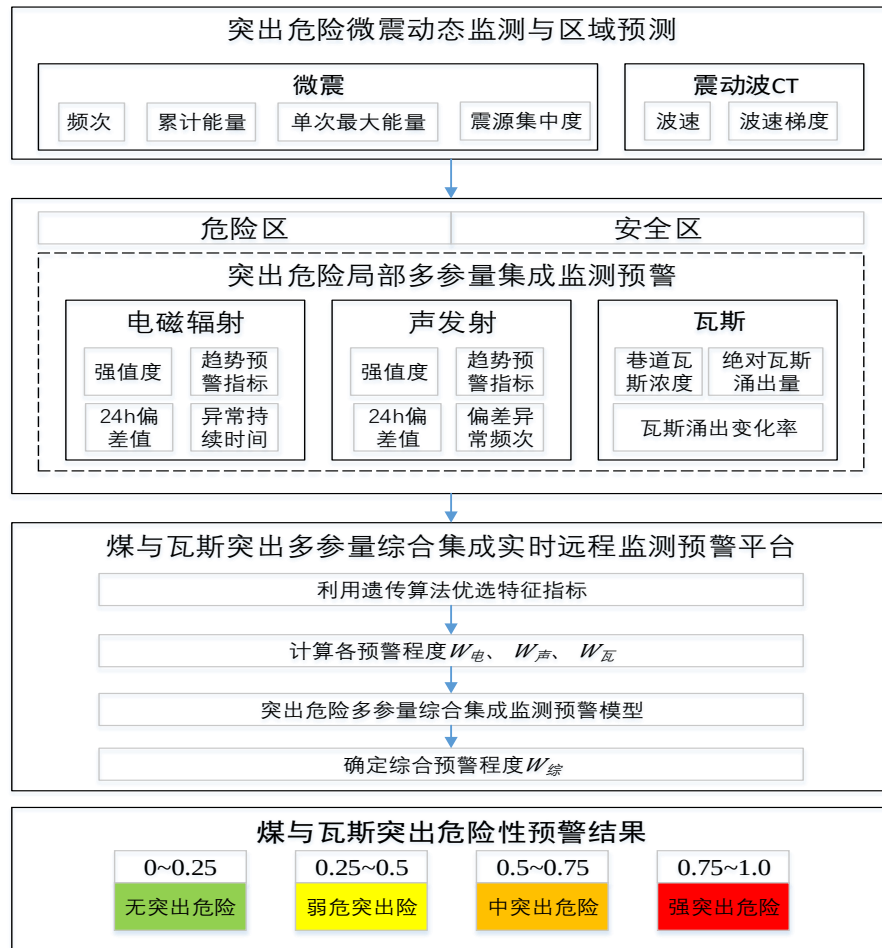


突出危险的区域-局部多参量集成监测预警指标体系

创新成果三：构建了煤层突出危险区域-局部逐级聚焦式多参量集成探测预警技术体系与方法

(6) 提出了突出危险区域-局部多参量集成探测预警方法

- 形成了微震-CT-声电瓦斯多参量集成预警结果为一体的区域-局部预警方法。在区域预测结果的基础上进行突出危险局部多参量集成预警。
- 突出危险区域-局部多参量集成探测预警方法对重点地段开展实时监测预警，有效提高了监测预警可靠性与准确率。



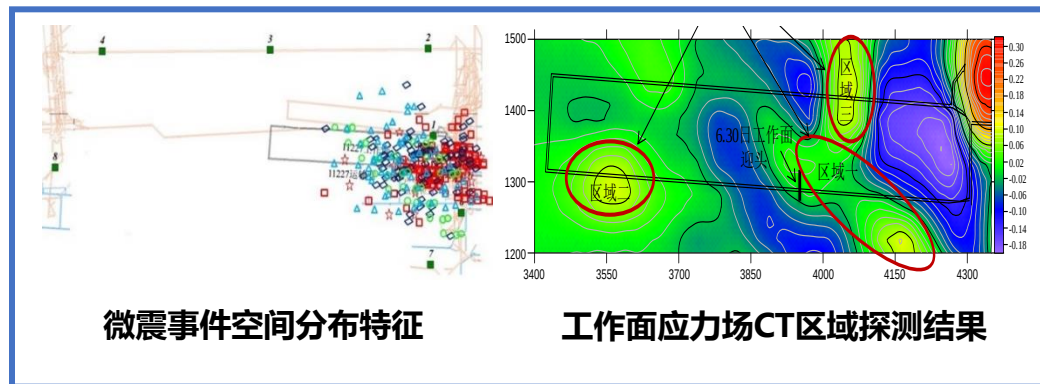
煤与瓦斯突出危险区域-局部监测预警流程图

创新成果三：构建了煤层突出危险区域-局部逐级聚焦式多参量集成探测预警技术体系与方法

(6) 提出了突出危险区域-局部多参量集成探测预警方法

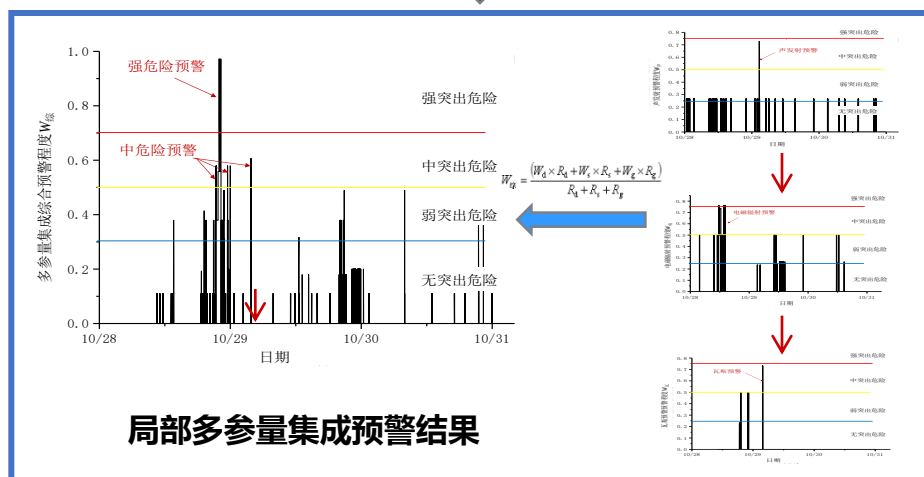
区域预测

通过微震和震动波CT技术进行动态连续长时监测与应力场探测，确定危险区域和安全区域。



局部预警

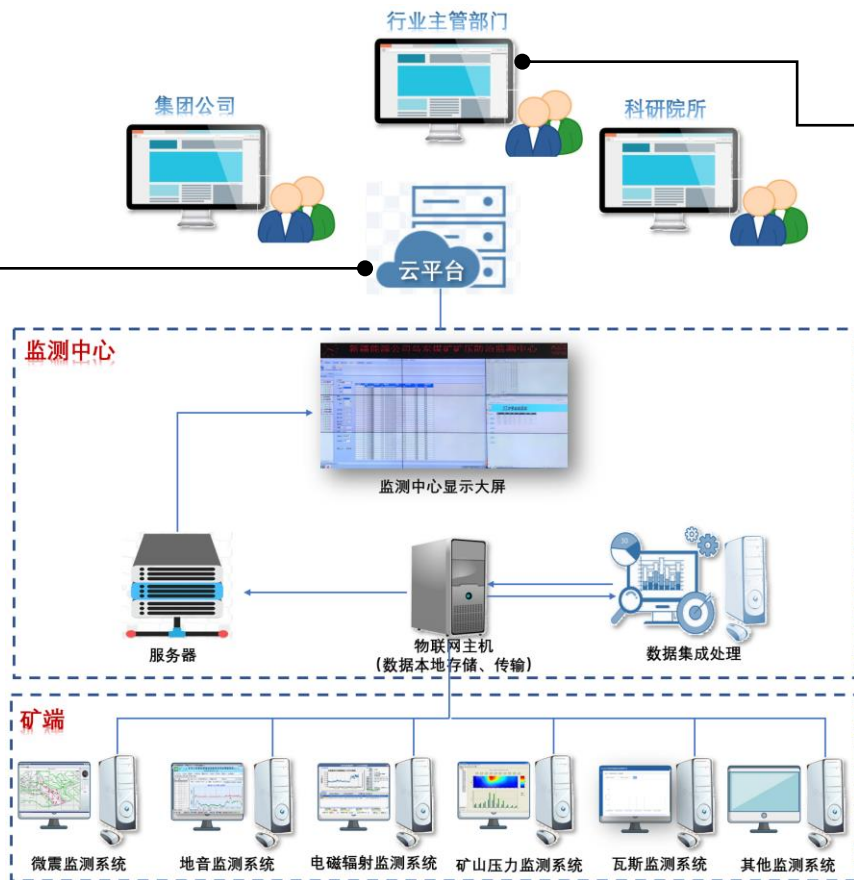
在掘进工作面开展集成电磁辐射、声发射、瓦斯涌出量等多参量的实时监测预警，并根据区域预测是否危险，而确定综合预警的最终结果。



突出危险区域-局部多参量集成探测预警流程案例

创新成果四：开发并应用了突出危险多参量集成预警远程系统平台

(1) 平台架构



在云端进行特征参量优选，实现单系统和多系统集成预警的集中统一展示

数据文件Web化，对集团公司、行业主管部门、科研院所分类展示。

以架构在矿井各类传感器后端的主机服务器为核心，将多元信息集成并上传至云端

平台系统架构体系

创新成果四：开发并应用了突出危险多参量集成预警远程系统平台

(2) 平台的功能与特色

- 实现微震、矿压、电磁、声发射、瓦斯等多源动态信息远程在线传输、存储和多源信息挖掘，可根据矿方监测设备进行扩展；
- 进行特征参量优选，实现了多系统多参量的集中统一展示，实现数据文件Web化。



多参量集成预警平台登录界面及主要功能菜单

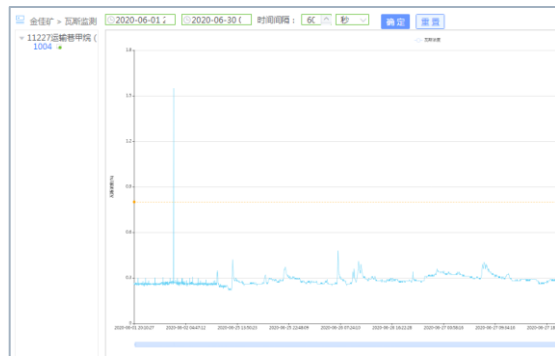
创新成果四：开发并应用了突出危险多参量集成预警远程系统平台

(3) 平台实时监测模块

实时监测预警模块实现了对矿井各监测系统监测参数的实时采集和呈现，实现将多个系统集中在一个屏幕显示切换。



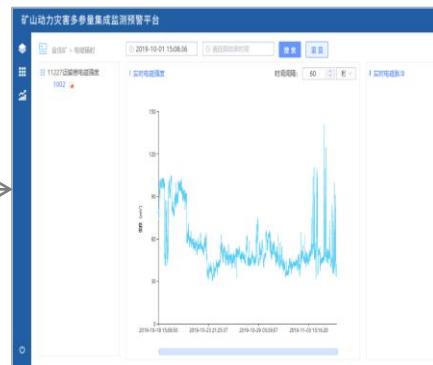
微震时空参数实时监测界面



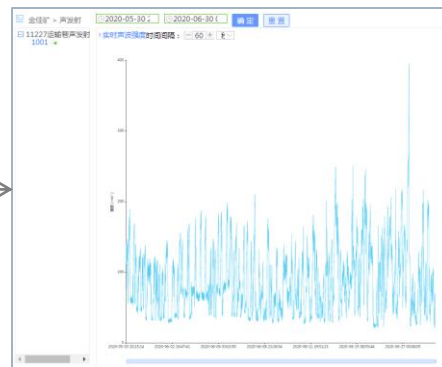
瓦斯参数实时监测界面



实时监测模块系统组成界面



电磁辐射参数实时监测界面



声发射参数实时监测界面

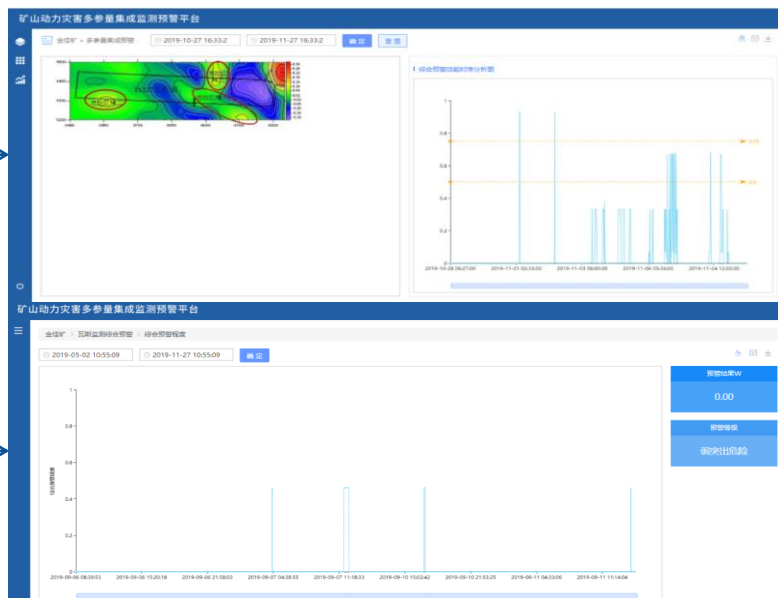
创新成果四：开发并应用了突出危险多参量集成预警远程系统平台

(4) 综合预警模块

- 单系统综合预警自动分析确定突出灾害优选指标及临界值，对优选指标（时，空，强）进行综合集成，实现单系统多参量综合集成；
- 多系统多参量集成预警集成了各系统监测尺度、监测范围、监测功能优势，避免了单系统预警独立，预警结果不统一的不足，使得预警效能大大提高。



综合集成预警模块功能组成界面



单、多系统综合预警界面

3

技术先进性及知识产权

三、技术先进性及知识产权——技术先进性



放炮事件自动识别算法与突出危险性智能预测方法

建立了基于CNN分析的放炮事件辨识算法与突出危险性预测方法，从而能更准确地识别突出危险性。



煤与瓦斯突出危险的多参量监测预警方法、指标与准则

建立了包含**瓦斯**、**电磁辐射**、**声发射**及**微震**等多参量综合统一的煤与瓦斯突出多尺度、多元**监测预警方法、指标及准则**。



突出煤层区域应力场与突出危险区探测方法

基于震动波CT反演技术，研发了突出矿井煤层区域应力场动态反演和突出危险区域可视化预测方法。



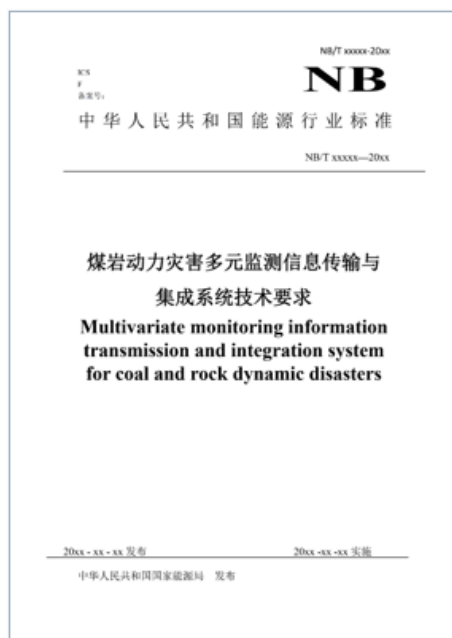
突出危险多参量集成预警远程系统平台

开发了**煤与瓦斯突出多参量区域-局部动态实时远程监测预警平台**，并在应用于金佳矿煤层突出危险性的监测预警与消突效果考察。

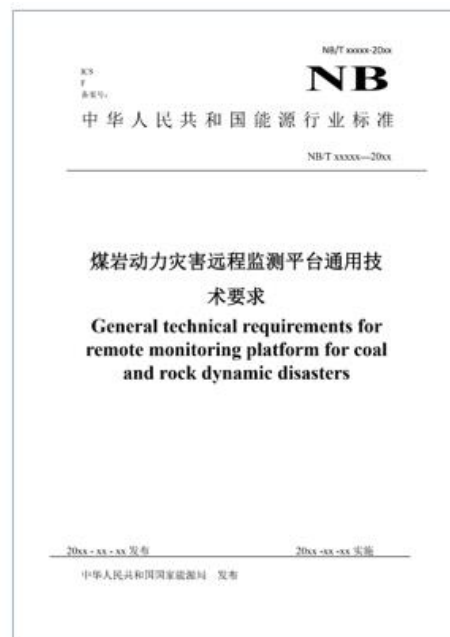
三、技术先进性及知识产权——知识产权

□ 编制行业标准2项。

1. 《煤岩动力灾害远程监测平台通用技术要求》（国家能源局发布）
2. 《煤岩动力灾害多元监测信息传输与集成系统技术要求》（国家能源局发布）



NB/T 10246-2019



NB/T 10247-2019

三、技术先进性及知识产权——知识产权

□ 发表相关论文10篇，其中SCI检索2篇，EI检索2篇，中文核心3篇。

- ① Qiu L, Song D, Li Z, et al. Research on AE and EMR response law of the driving face passing through the fault[J]. Safety Science, 2019. (SCI)
- ② Wang A, Song D, He X, et al. Investigation of coal and gas outburst risk by microseismic monitoring[J]. Plos One, 2019. (SCI)
- ③ 何学秋, 王安虎, 窦林名, 宋大钊, 祖自银, 李振雷. 突出危险煤层微震区域动态监测技术[J]. 煤炭学报, 2018. (EI)
- ④ 柳先锋, 宋大钊, 何学秋, 等. 微结构对软硬煤瓦斯吸附特性的影响[J]. 中国矿业大学学报, 2018. (EI)
- ⑤ 张仕和. 突出矿井声-电-瓦斯系统监测参量变化及相关性研究[J]. 煤炭科学技术, 2018. (中文核心)
- ⑥ 王安虎, 宋大钊, 宋宜猛. 高瓦斯煤层高压水力割缝增透技术试验研究[J]. 煤炭技术, 2018.
- ⑦ 张仕和. 煤与瓦斯突出实时监测预警系统声—电噪声扰动分析[J]. 能源与环保, 2018.
- ⑧ 张仕和. 月亮田煤矿低渗煤层水力压裂增透技术研究[J]. 煤炭与化工, 2018.
- ⑨ 薛雅荣, 宋大钊, 何学秋, 等. 突出煤岩纵波波速与应力相关关系[J]. 西安科技大学学报, 2019. (中文核心)
- ⑩ 彭玉杰, 宋大钊, 何学秋, 等. 基于瓦斯浓度的炮掘工作面放炮自动识别与突出危险性预测[J]. 煤炭科学技术, 2020. (中文核心)



4

主要研究结论

四、主要研究结论

- (1) 基于差分卷积神经网络（CNN）分析的煤巷掘进过程放炮事件自动识别算法与突出危险性预测方法，实现了对放炮时刻及炮后瓦斯浓度峰值的辨识、提取及煤层突出危险性的智能预测。
- (2) 基于微震监测与震动波CT反演技术可实现对突出矿井采区地质异常体动态监测、煤层区域应力场动态反演和突出危险区域可视化预测。
- (3) 建立的突出危险区域—局部动态实时监测预警方法，形成了突出危险的多参量综合集成监测预警。
- (4) 开发的突出危险多参量集成预警远程系统平台，通过对多参量监测预警数据的远程在线传输、存储和挖掘分析，实现了对突出危险性的远程实时监测预警及消突效果的考察。

谢谢各位专家！