

# 煤矿冲击矿压防治有关问题 的研究与探讨



报 告： 窦林名 教授 Ph D. Prof.  
单 位： 冲击地压防治工程研究中心  
网 址： <http://burst.cumt.edu.cn>  
WeChat: 中矿冲击矿压研究



# 汇报提纲

- 一、中矿大煤矿冲击矿压主要研究成果
- 二、冲击矿压防治有关问题的研究探讨
- 三、冲击矿压风险判识与监测预警云平台

## □ 冲击矿压机理、监测及防治研究团队

- 11名教授、 12名副教授、 50余名博硕士生。主持国家项目30余项；获国家奖2项、省部级奖18项；获全国百篇优博1篇，江苏省优博5篇；著作12部，论文300余篇（SCI/EI 120/200），专利及软件权49项。

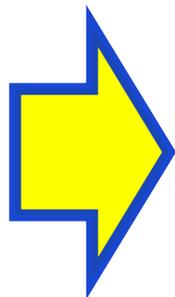
## □ 教授

- 窦林名（采矿），王恩元（安全），孙彦景（信电），丁恩杰（物联网），牟宗龙（采矿）、曹安业（采矿）、高明仕（采矿）、陆菜平（采矿）、刘海顺（物理）、陈同俊（地质）、刘晓斐（安全）等。

## □ 副教授、副研究员

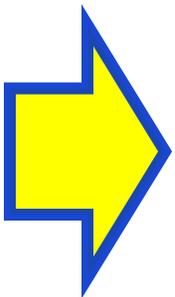
- 巩思园（采矿），贺虎（采矿），何江（采矿），蔡武（采矿），李许伟（采矿）、王强（采矿）、沈荣喜（安全）、李小林（工业过程）、王桂峰（材料）、李楠（安全）、冯小军（安全）、徐秀（计算机）等。

## 支撑平台



- 煤炭资源与安全开采国家重点实验室
- 深部煤炭资源开采教育部重点实验室
- 矿山互联网应用技术国家地方联合工程实验室
- 江苏省矿山地震监测工程实验室
- 中矿大-安理大冲击地压工程研究中心

## 合作公司



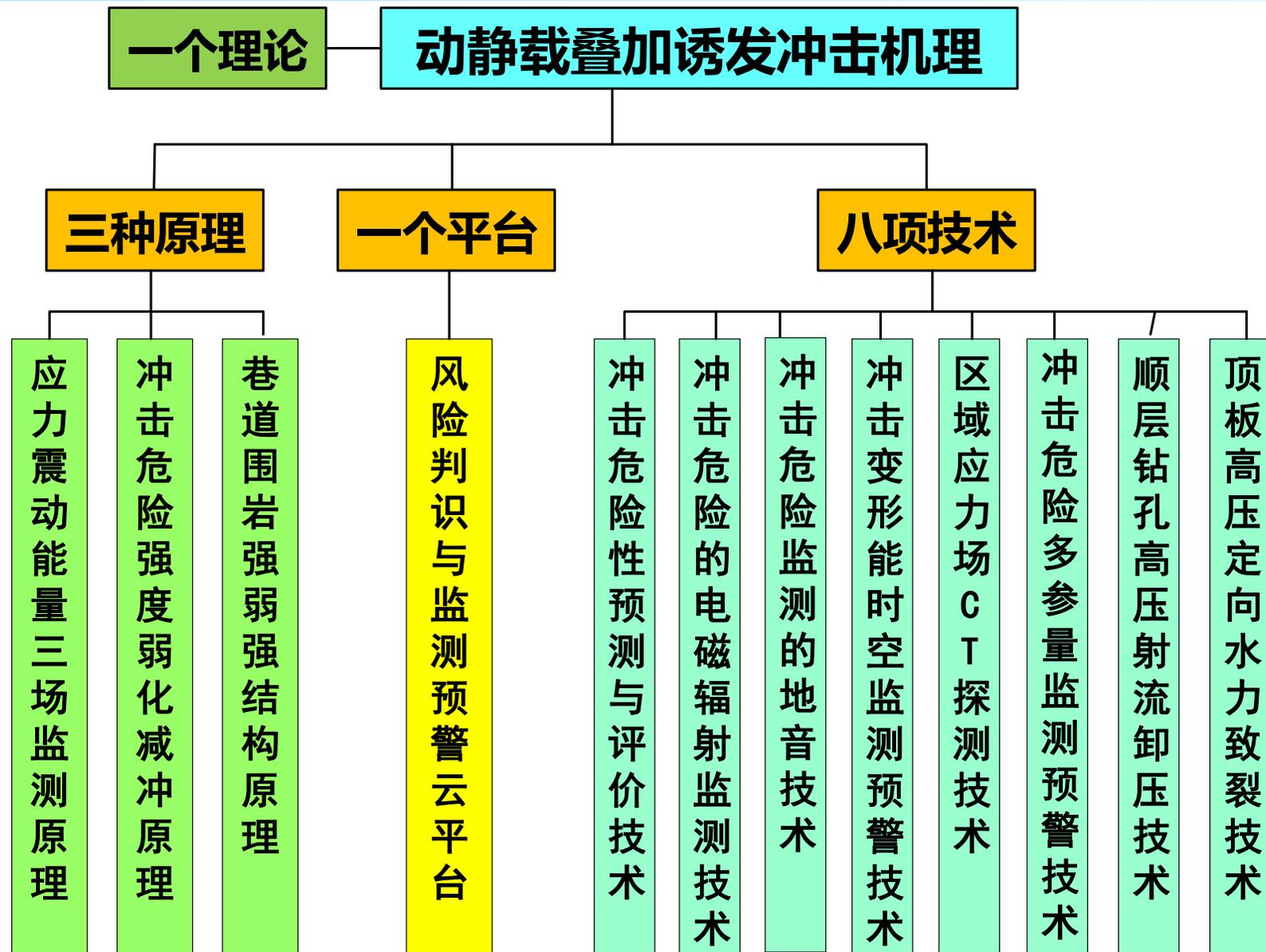
- 徐州弘毅科技发展有限公司
- 徐州蔚蓝计算机及网络科技有限公司
- 北京泰瑞奇科学仪器制造有限公司
- 北京达美盛软件股份有限公司
- Central Mining Institut in Poland
- GEOTRAN Company LTD.
- Archon Sp. z o. o.

一个理论

三种原理

一个平台

八项技术



# 一个理论



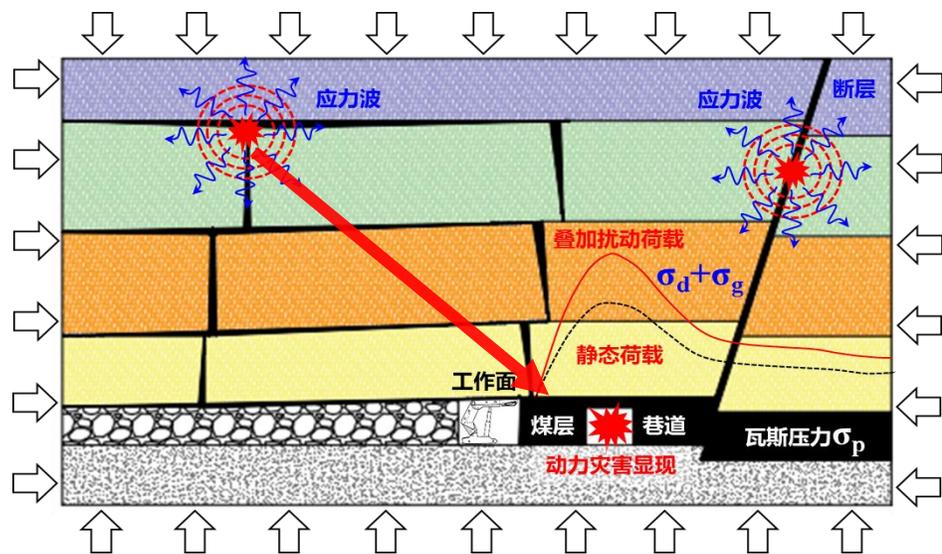
CISM

State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



# 1

## 动静载叠加诱发冲击机理



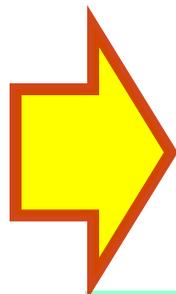
- 动静载叠加诱冲力学模型
- 临界冲击应力的确定
- 动态应变率定义动静载
- 力、能的冲击矿压分类
- 动静载及其叠加作用效应
- 覆岩的Π—F—T 型结构

# 2

## 三种原理

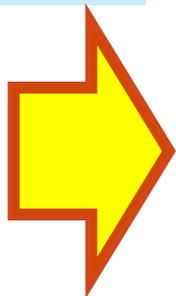


### 1) 应力震动能量 三场监测原理



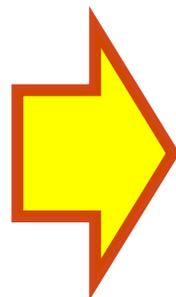
- 力-电-震-能耦合模型
- 归一化监测预警准则
- 时空强分级预测模式

### 2) 冲击矿压强度 弱化减冲原理



- 强度弱化减冲力学模型
- 区域降压减震吸能效应
- 局部强度弱化减冲效应

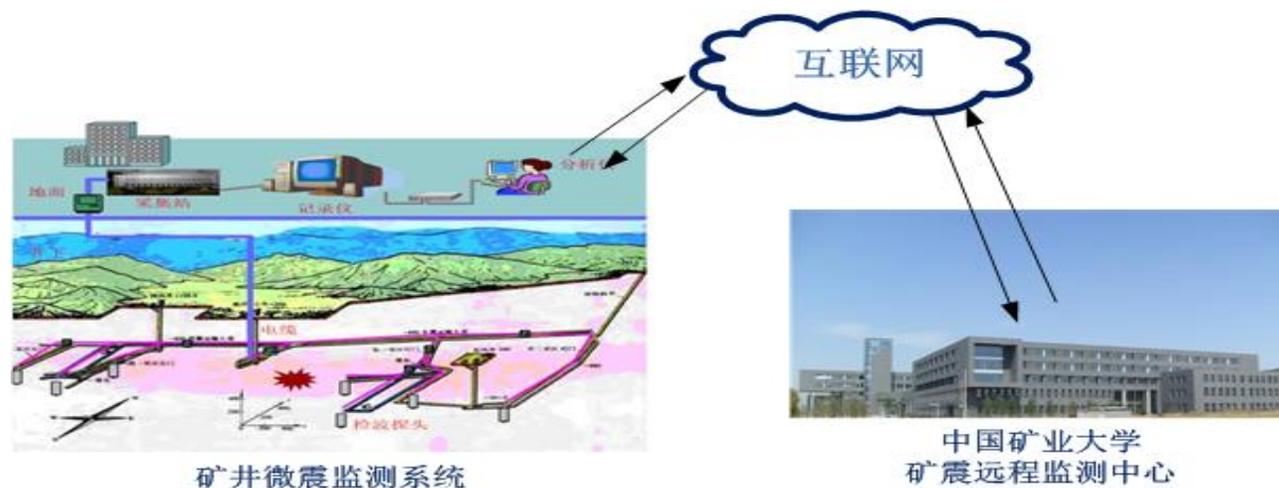
### 3) 巷道围岩强弱 强结构原理



- 巷道围岩强弱强力学模型
- 强弱强结构降压吸波效应
- 支护体的抗冲击效应

## 风险判识与监测预警云平台

- 大震自动报警
- 冲击危险区CT判识
- 多参量实时自动预警
- 防治信息化处理

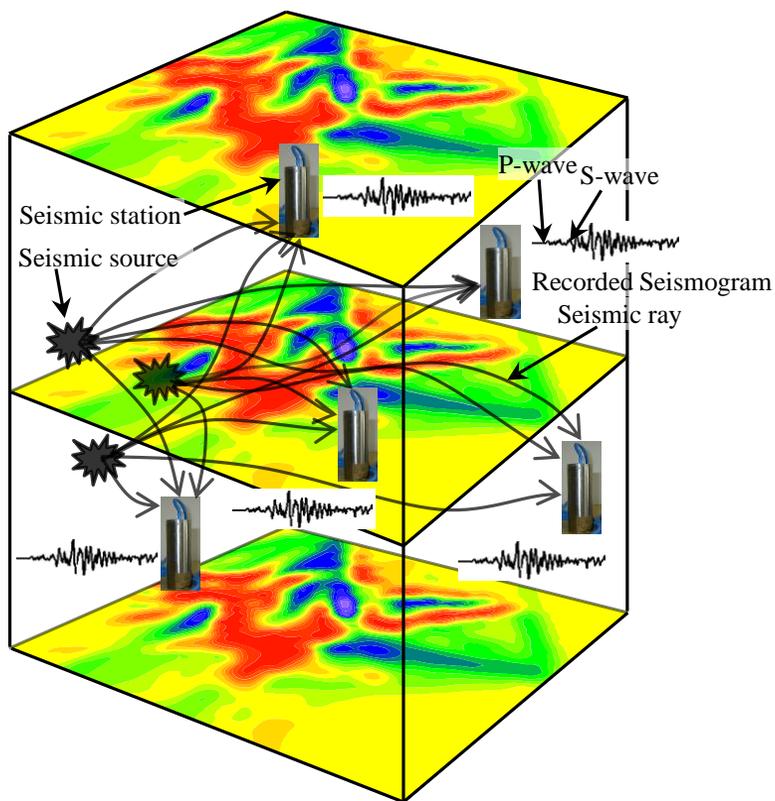


# 4

## 八项技术



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



- 1) 冲击危险性预测与评价技术
- 2) 冲击危险的电磁辐射监测技术
- 3) 冲击危险监测的地音技术
- 4) 冲击变形能时空监测预警技术
- 5) 区域应力场CT 探测技术
- 6) 冲击危险多参量监测预警技术
- 7) 顺层钻孔高压射流卸压技术
- 8) 顶板高压定向水力致裂技术

# 八项技术:



CISM

State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



## 1) 冲击危险性预测与评价技术

- 综合指数法
- 多因素耦合分析法
- 应力分析法

## 2) 冲击危险电磁辐射监测技术

- 力-电磁辐射耦合模型
- 冲击危险预警准则
- 电磁辐射监测预警技术

## 3) 冲击危险监测的地音技术

- 地音监测原理
- 冲击危险地音监测指标
- 地音监测预警技术

## 4) 冲击变形能时空监测预警技术

- 冲击变形能预测模型
- 冲击变形能时空监测预警
- 冲击变形能监测预警技术

# 八项技术:



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



## 5) 区域应力场 CT 探测技术

- CT 应力场探测原理
- 弹性波(主动) CT 探测
- 震动波(被动) CT 探测
- 双震源一体化 CT 探测

## 6) 冲击危险多参量监测预警技术

- 应力震动能量三场监测指标
- 冲击矿压分类监测指标体系
- 冲击危险多参量监测预警体系

## 7) 顶板高压定向水力致裂技术

- 定向致裂原理
- 高压定向致裂装备
- 高压定向致裂技术

## 8) 顺层钻孔高压射流卸压技术

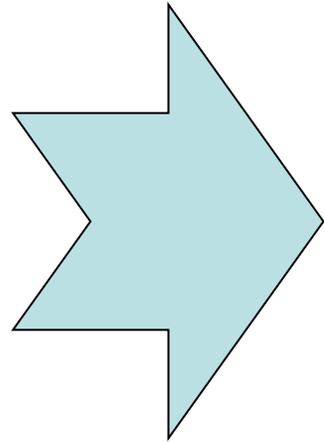
- 高压射流基本原理
- 高压射流的技术装备
- 钻孔高压射流卸压技术



# 汇报提纲

- 一、中矿大煤矿冲击矿压主要研究成果
- 二、冲击矿压防治有关问题的研究探讨
- 三、冲击矿压风险判识与监测预警云平台

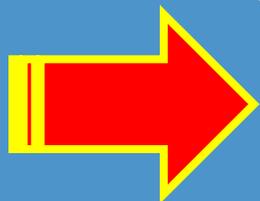
## 冲击矿压 防治有关 问题的研 究探讨



- 1、矿震、冲击矿压、塌陷地震
- 2、矿震的分类方法
- 3、冲击矿压的力、能分类
- 4、冲击矿压的主控因素
- 5、实体煤巷道应力转换
- 6、急倾斜夹持煤柱型冲击机理
- 7、采动覆岩的空间结构
- 8、综放开采的降载减冲
- 9、矿震与采面开采速度
- 10、煤岩瓦斯复合动力灾害
- 11、双震源一体化CT技术
- 12、冲击防治的动静管理



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



# 1、矿震、冲击矿压、塌陷地震

## □ 矿震、矿震灾害（冲击矿压）、塌陷地震

- **矿震**：是矿山地震的简称，又称微震，是矿山开采引起的地震活动。当矿震能量较大时，地面有震感，地震台网能够记录；
- **矿震灾害**：就是冲击矿压。矿震灾害（冲击矿压）是发生在高应力区巷道、回采工作面围岩体内，以突然、急剧、猛烈破坏为特征的矿压动力现象。
- **塌陷地震或塌陷矿震**：是能被地震台网监测记录到的矿震，主要包括矿井大面积采空区塌陷、巨厚岩层破断滑移、采掘活动引起矿区断层活化、严重冲击地压事故等产生的地震事件等。

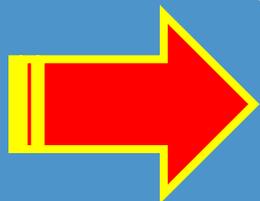
## □ 矿震灾害（冲击矿压）

### □ 冲击矿压：就是矿震灾害，与矿震关系密切；

- 龙郢煤矿“2018.10.20”冲击矿压，能量 $2.2E+06J$ ，震级：M1.5级
- 龙家堡矿“2019.6.9”冲击矿压，能量 $1.5E+08J$ ，震级：M2.3级
- 唐山矿“2019.8.2”冲击矿压，震级：M2.0级
- 砚北矿“2019.8.8”强矿震，能量： $2.19E+07J$ ，震级：M2.8级
- 海石湾矿“2019.10.6”强矿震，能量： $2.3E+07J$ ，震级：M2.8级
- 新巨龙矿“2020.2.22”冲击矿压，能量 $4.2E+07J$ ，震级：M2.49级
- 孟村矿“2020.5.24”冲击矿压，能量 $1.52E+06J$ ，震级：M2.0级



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M

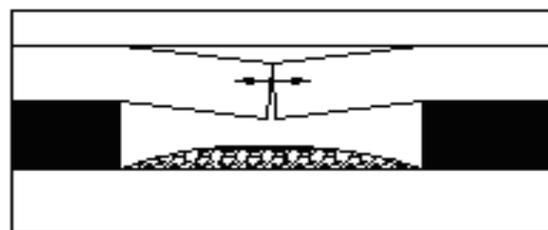
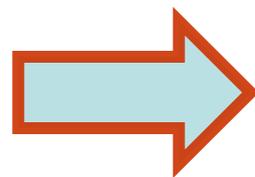


## 2、矿震的分类方法

## □ 1、矿震的类型一：——震源力源分类



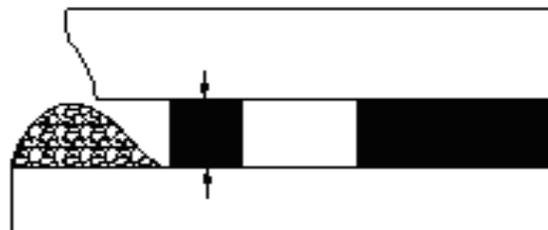
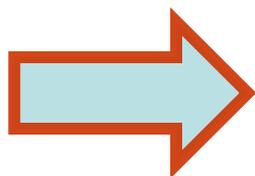
拉伸型



拉伸型（顶板拉张）



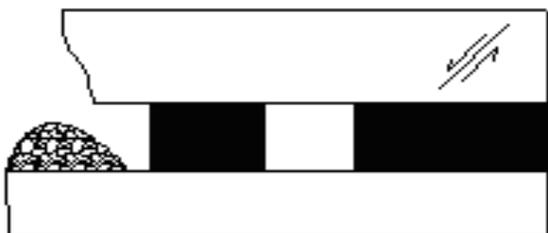
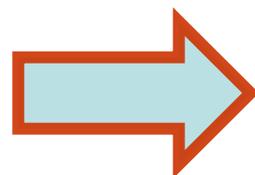
内爆型



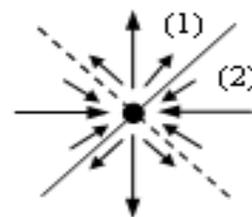
内爆型（煤柱压缩）



剪切滑移型

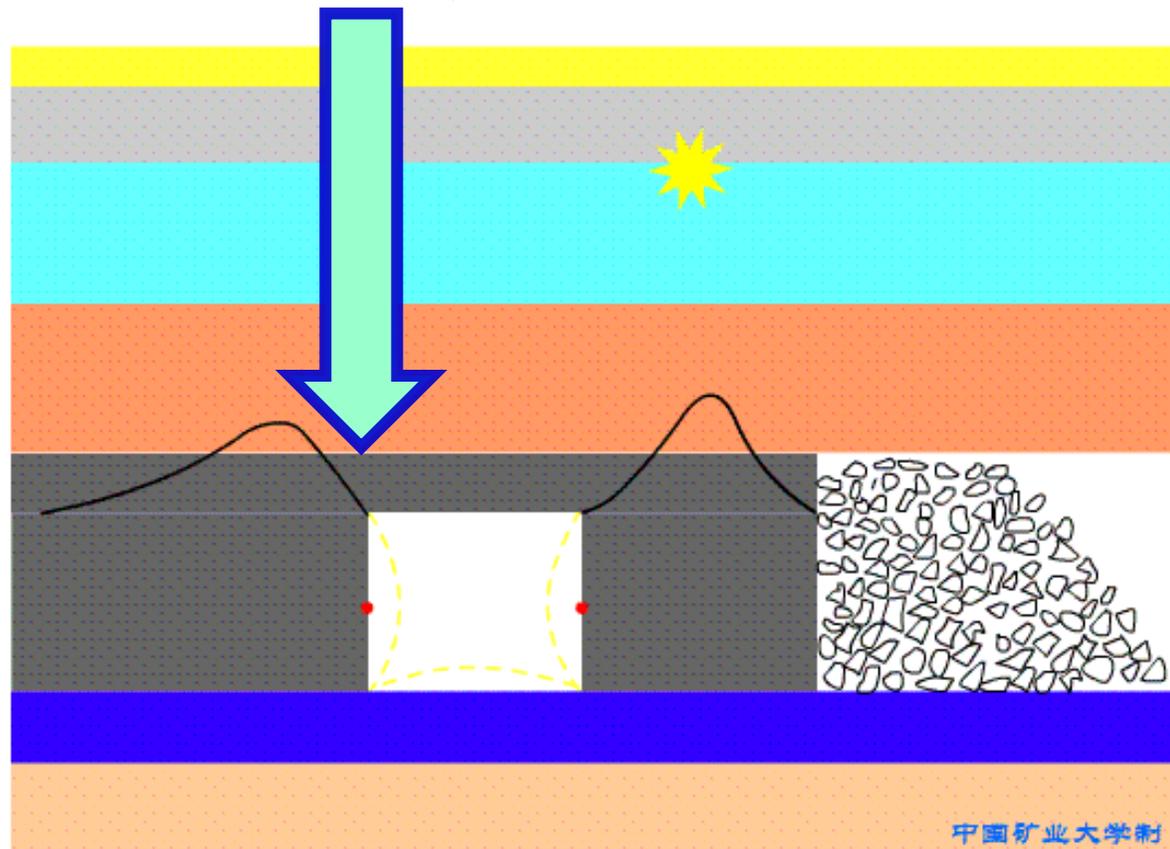


剪切型（断层滑移）

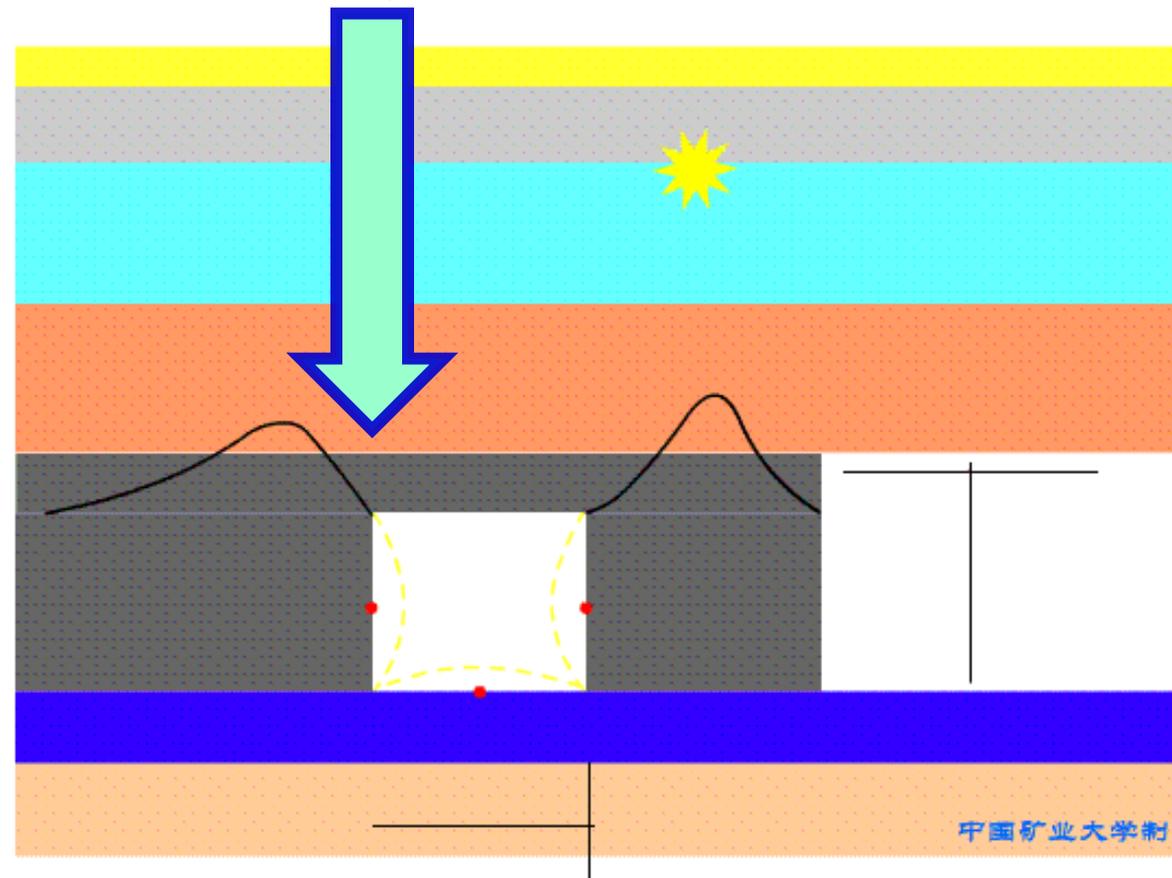


## □ 2、矿震的类型二：——危险性矿震与正常矿震

### 危险性矿震



### 正常矿震



- 3、矿震的类型三： ——震动特征及其参数分类
- **采动破裂型**：采掘时在煤层及附近顶底板围岩破裂产生的矿震，能量小于 $10^4$  J，属于正常采掘煤岩体破裂产生能量释放的安全性矿震；
  - **巨厚覆岩型**：距煤层100m以上、厚度大于100m的巨厚岩层在采空区破断滑移产生的矿震，能量大于 $10^5$  J，这类矿震大部分能被地震台网监测到；
  - **断层活化型**：一切与断层活化相关的矿震，其能量释放分布范围一般为大于 $10^4$  J以上不等，有时候能产生与自然地震同等规模的有感地震，也能被地震台网记录，同时也可能诱发冲击地压；
  - **冲击矿压型**：所有诱发冲击地压的矿震，也称矿震灾害。

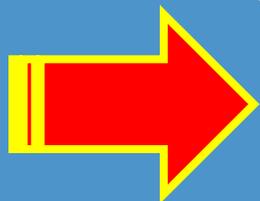
## 矿震分类

矿震类型	震动能量, J	煤壁震动速度 mm/s	波形特征	震源位置	矿压显现
采动破裂型	$<10^4$ J	$<200$	P、S波不清晰、 波形持续时间短、 主频 $>10$ Hz	采掘工作面煤层 及其50m范围内的 顶底板岩层	煤炮声，采掘面有轻微震 动，地面无震感
巨厚覆岩型	$>10^5$ J	100-400	P、S波清晰、波 形持续时间长、 主频 $<10$ Hz	工作面采空区域、 距煤层100m以上 的巨厚覆岩中	井下、地面均有震感，地 震监测系统能够监测到。
断层滑移型	$10^2-10^8$ J	50-500	P、S波清晰、波 形持续时间较长 类似地震波形、 主频 $<10$ Hz	震源位置在断层 附近、沿断层面 展布	煤炮声，井巷有震动，有 时地面有震感，地震监测 系统能够监测。高能量的 会造成井巷破坏
冲击矿压型	$>10^4$ J	$>400$	P、S波清晰、波 形持续时间长、 主频 $<10$ Hz	震源位于采掘工 作面附近实体煤 及其顶底板岩层 之中	井巷大范围破坏、强烈震 动与声响，有时地面有震 感，部分冲击时地震监测 系统能够监测到



CISM

State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



### 3、冲击矿压的力、能分类

# 冲击矿压的力能分类



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



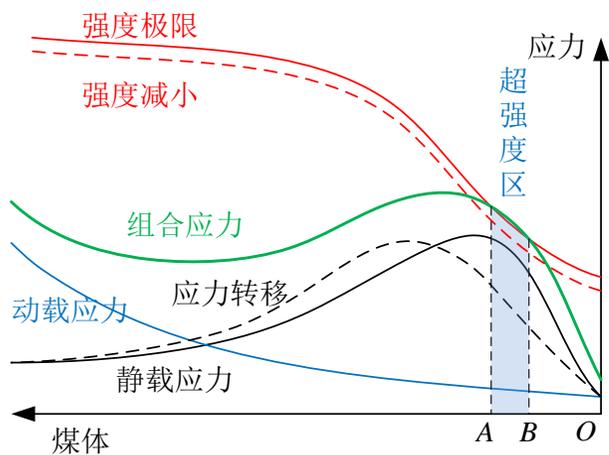
## 冲击矿压的力能分类

➤ 能量表达: 
$$\frac{dU_R}{dt} + \frac{dU_C}{dt} + \frac{dU_S}{dt} > \frac{dU_B}{dt}$$

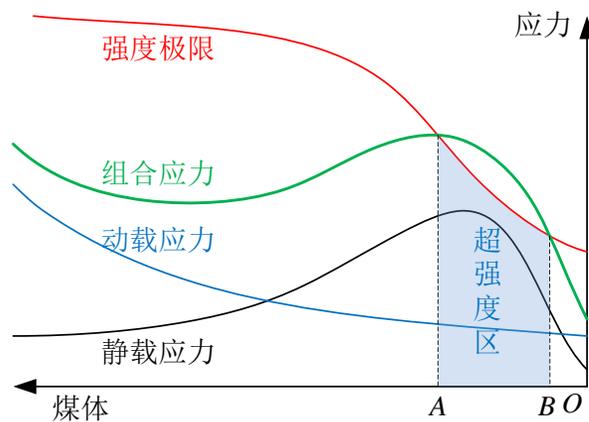
➤ 单向: 
$$U = \frac{(\sigma_j + \sigma_d)^2}{2E} \quad U_{bmin} = \frac{\sigma_{bmin}^2}{2E}$$

$$\sigma_j + \sigma_d \geq \sigma_{bmin}$$

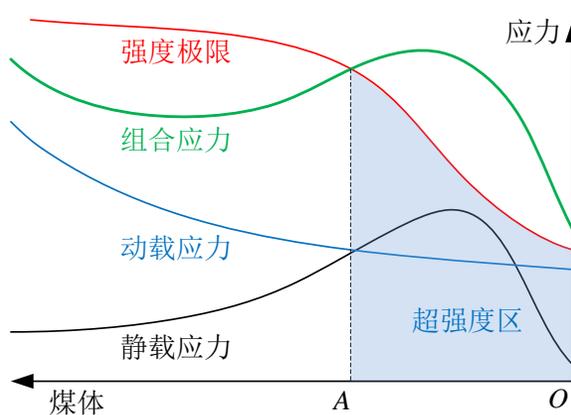
- $U_R$ —围岩中储存的能量;
- $U_C$ —煤体中储存的能量
- $U_S$ —矿震能量;
- $U_B$ —冲击时消耗的能量
- $U_{bmin}$ —动态破坏最小能量
- $\sigma_j$ —静载应力
- $\sigma_d$ —动载应力
- $\sigma_{bmin}$ —临界应力



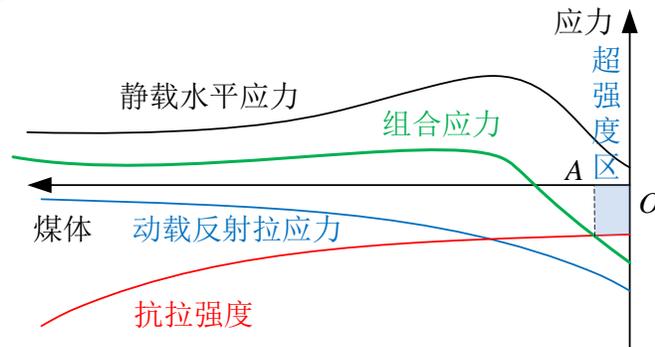
低应力扰动



动载扰动



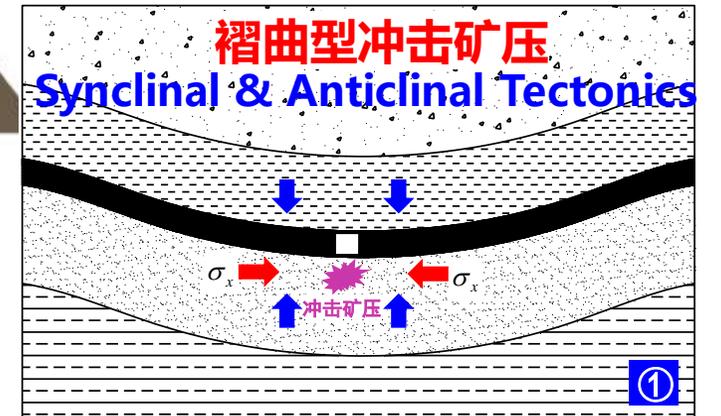
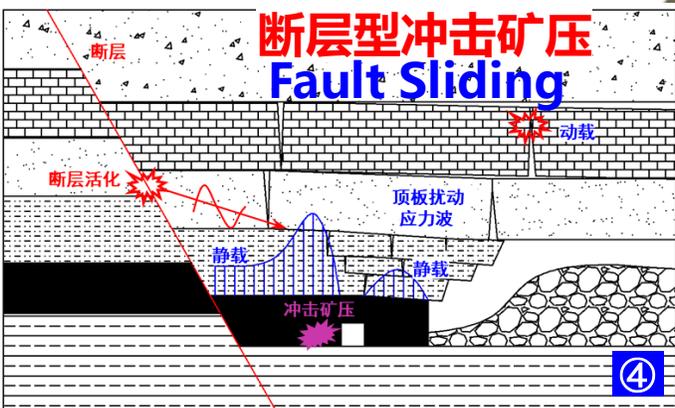
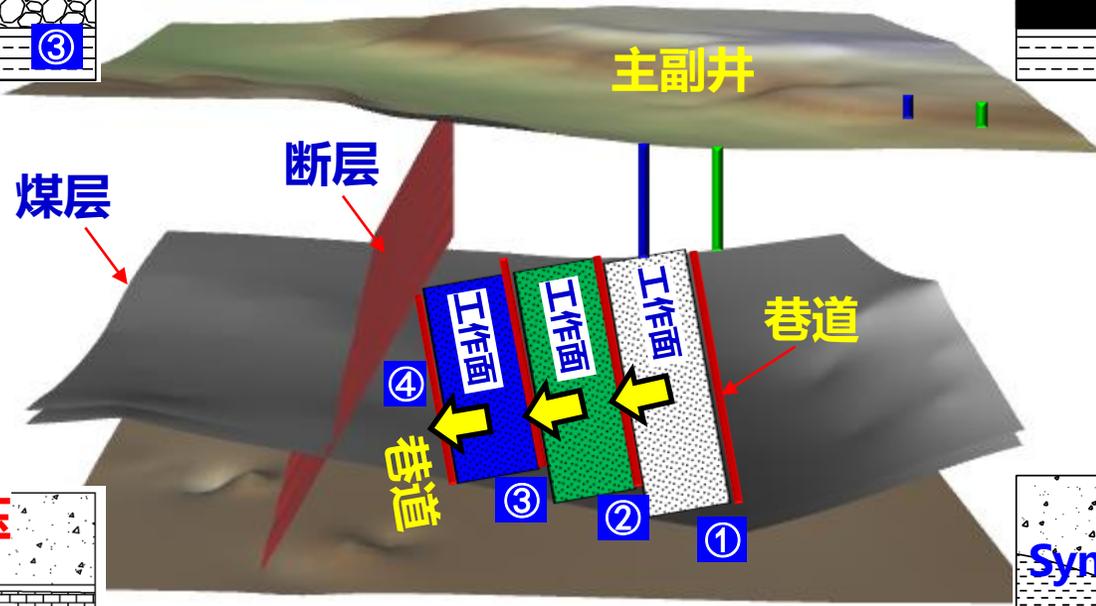
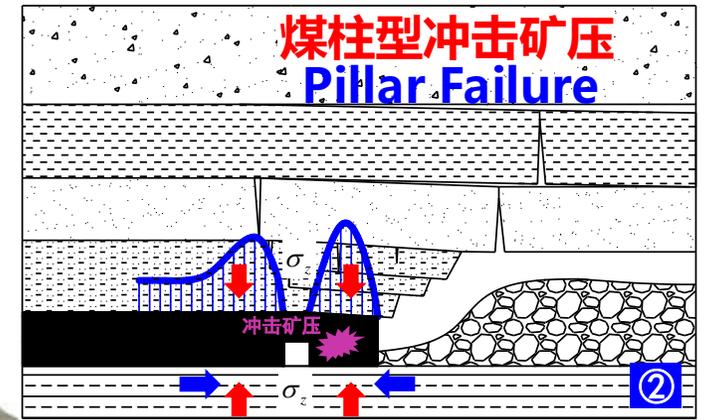
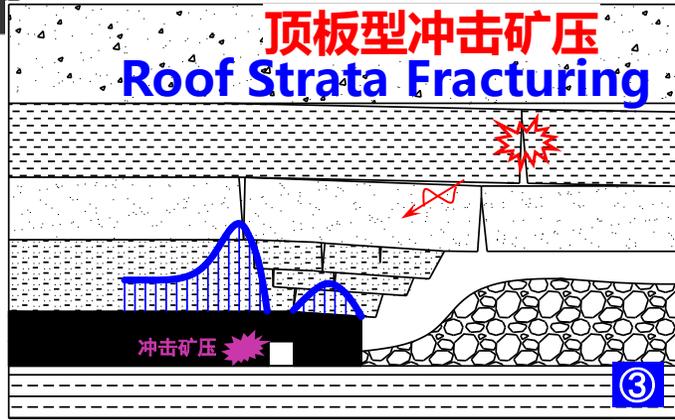
动静组合



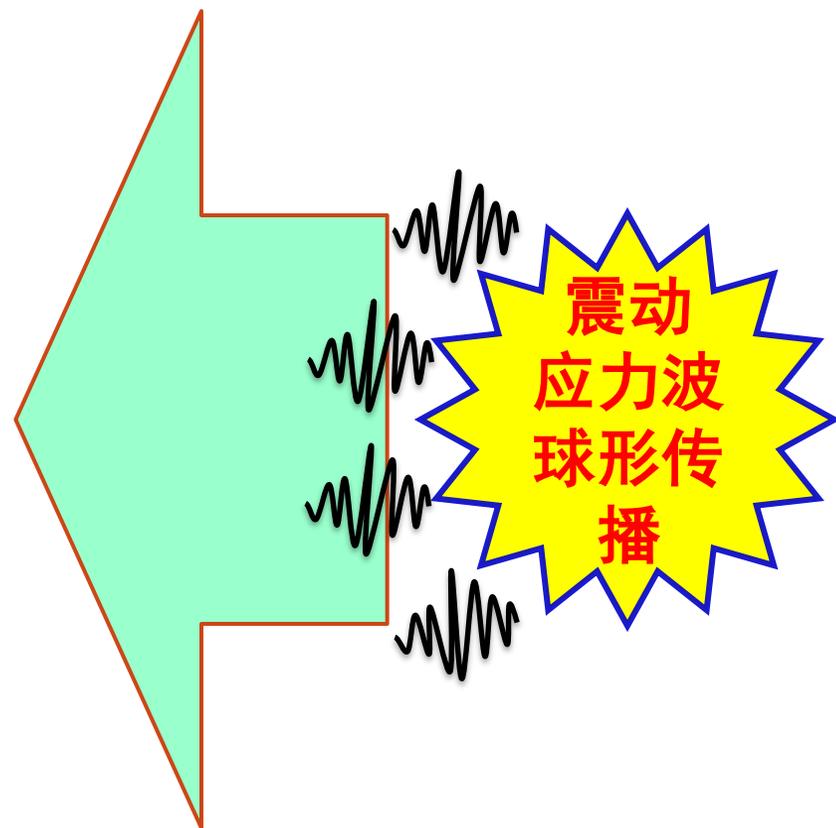
反射拉伸



# 冲击矿压类型 Classification of Coalburst

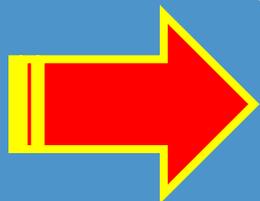


- **煤柱破坏型**—— 垂直高应力、采掘扰动；煤柱释放能量
- **皱曲构造型**—— 水平高应力、采掘扰动；构造煤体释放能量
- **顶板破断型**—— 顶板破断强动载、支承压力；顶板破断释放高能量
- **断层滑移型**—— 断层活化强动载、支承压力；断层活化释放高能量





State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



## 4、冲击矿压的主控因素

# 冲击矿压的主控因素



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



## 地质属性

- 开采深度
- 煤岩冲击倾向性
- 顶板岩层结构

## 构造异常

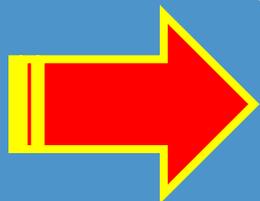
- 断层构造
- 褶皱构造
- 煤层分叉合并
- 顶板砂岩带
- 火成岩侵入
- 巨厚覆岩

## 采掘应力集中区域

- 区段煤柱区
- 上覆遗留煤柱区
- 停采线附近
- 切眼外错
- 向采空区采掘
- 煤层群巷道叠加
- 采掘相互扰动
- 来压与见方区域



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



## 5、实体煤巷道应力转换

# 实体煤巷掘进应力路径转换



State Key Laboratory of Coal Resources and Safe M

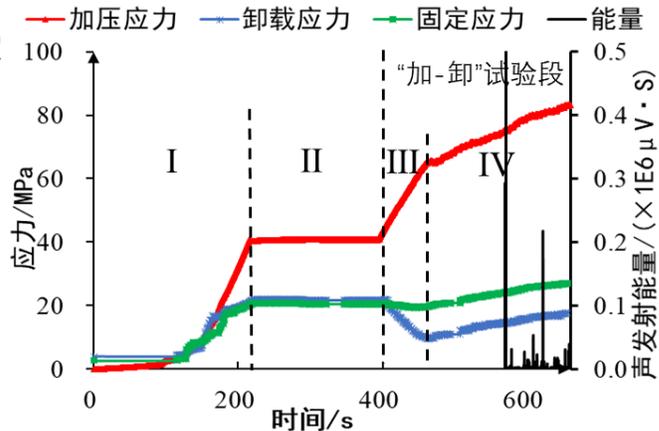


## 煤巷掘进应力路径转换及诱冲机制

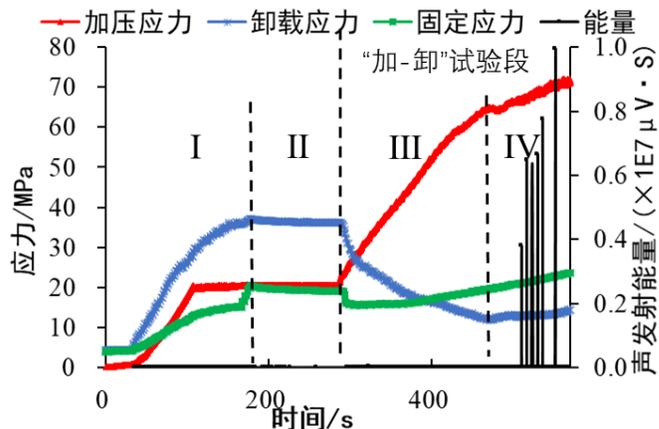
### “加-卸” 应力路径转换



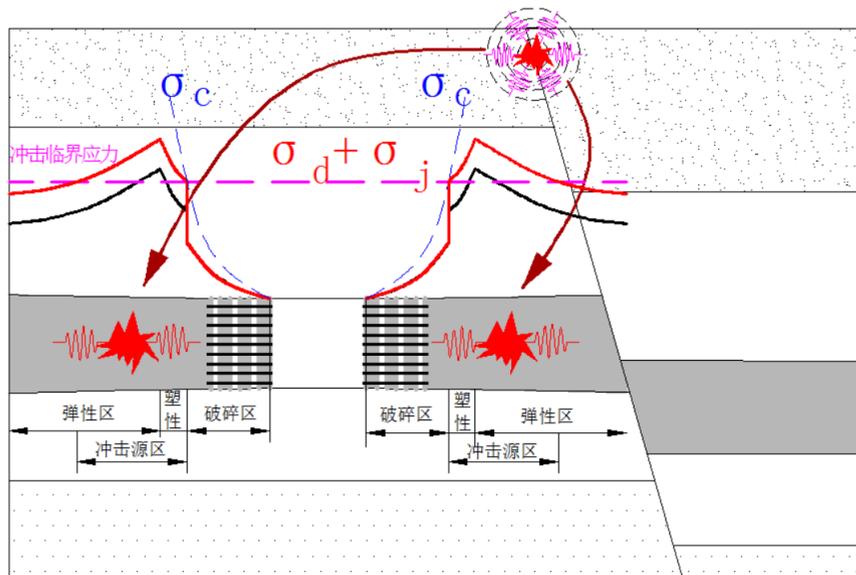
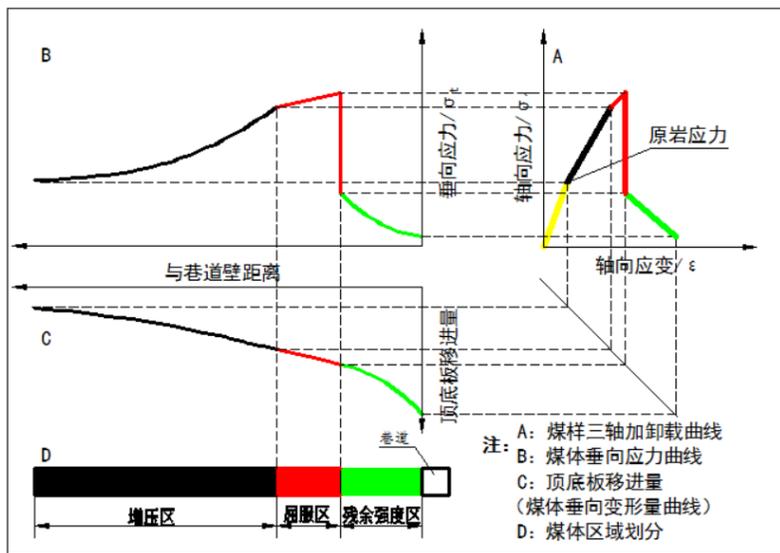
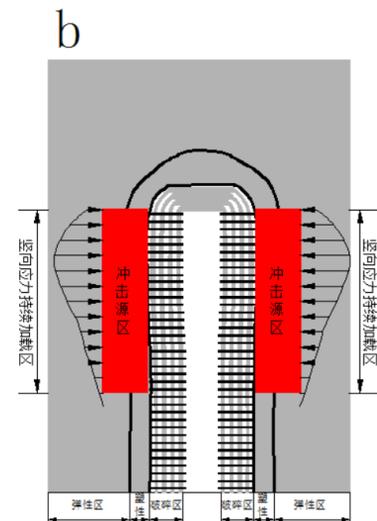
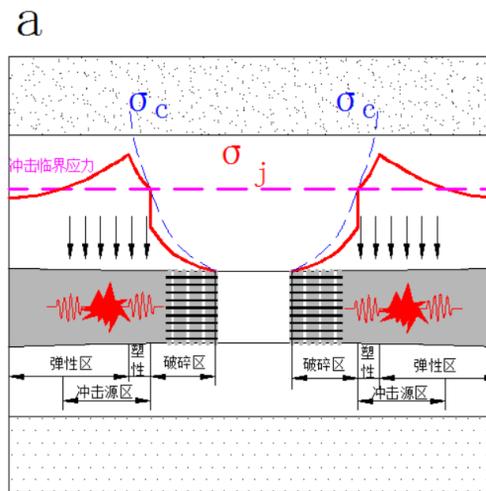
- 切向加载
- 径向卸载
- 走向应变不变”



高加载侧应力

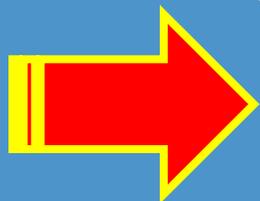


高卸载侧应力





State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



## 6、急倾斜夹持煤柱型冲击

# 急倾斜夹持煤柱型冲击机理



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



□ 夹持煤柱型冲击 → 急倾斜特厚煤层水平分段开采

$$\sigma_j + \sigma_d \geq \sigma_{b \min}$$

$\sigma_j$  - 静应力  
 $\sigma_d$  - 冲击应力波  
 $\sigma_{b \min}$  - 临界应力

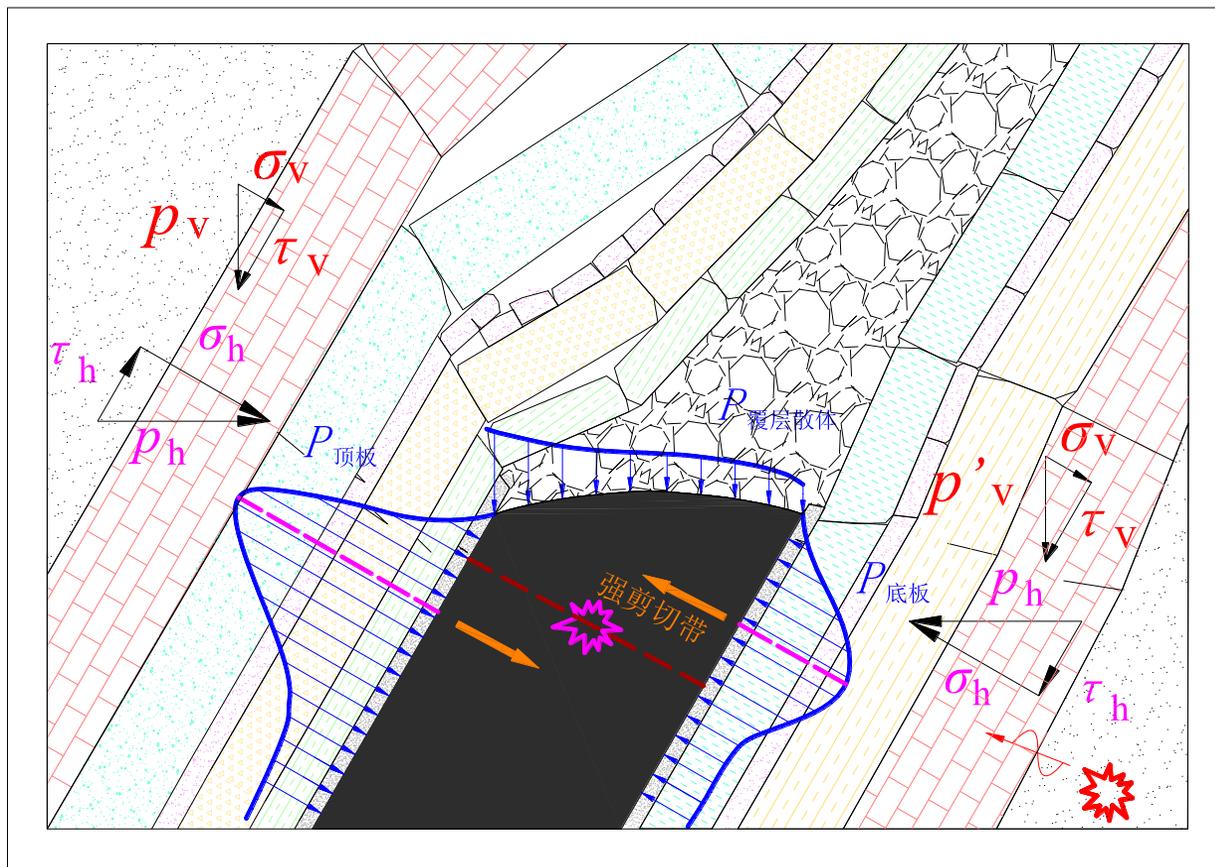
急倾斜特厚煤层水  
平分段开采类型



夹持煤柱型



夹持应力  
剪切力  
矿震动载



# 急倾斜夹持煤柱型冲击机理

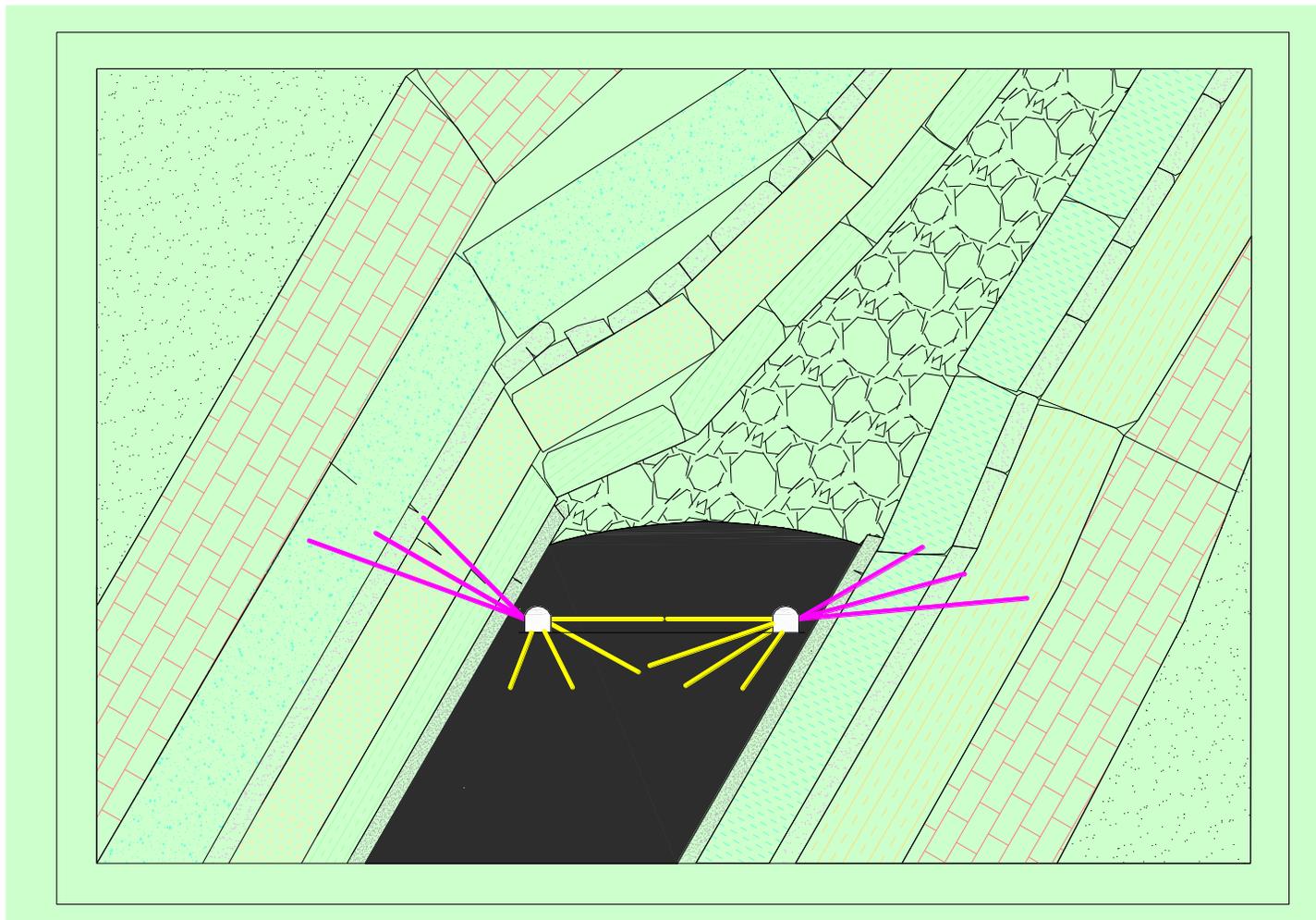


CISM

State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M

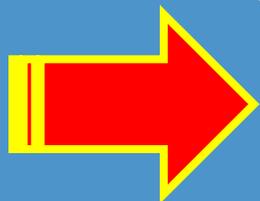


- 降低煤体的冲击倾向性
- 受夹持煤柱的卸压，降低夹持应力集中程度
- 破坏顶底板的完整性，降低夹持力
- 煤层  $\alpha=60^\circ$
- ✓ 本分层煤体卸压—钻孔、爆破
- ✓ 顶板、底板分层扇形爆破





State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



## 7、采动覆岩的空间结构

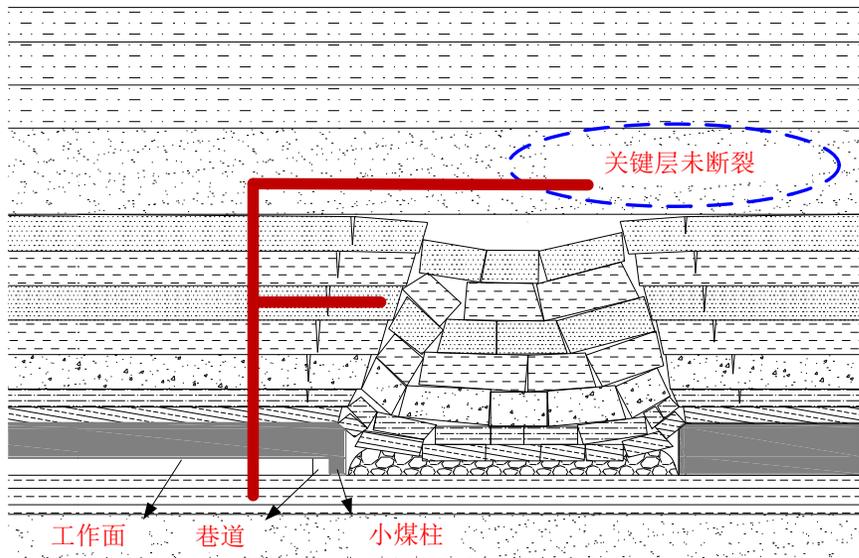
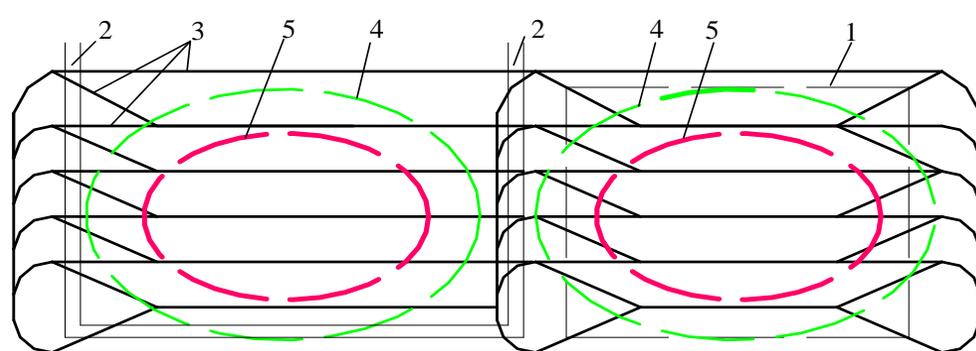
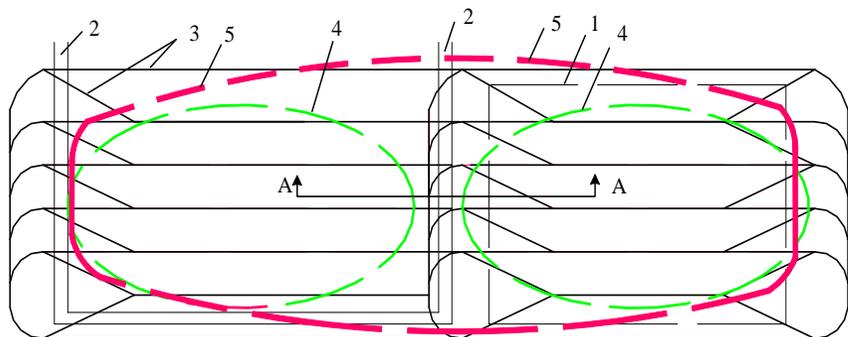
# 采动覆岩的空间结构



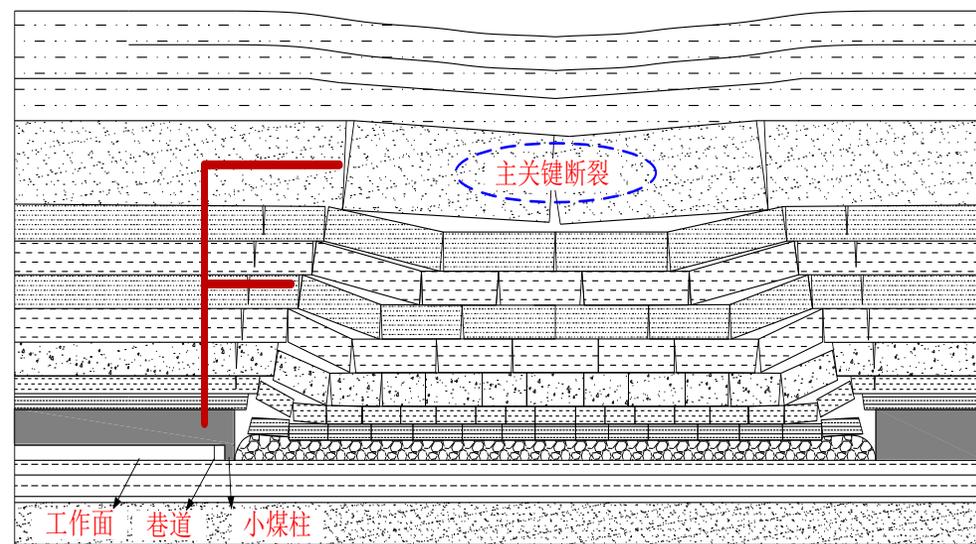
State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



## 覆岩的 ⊗ —Π—F—T 型结构



长臂F型结构

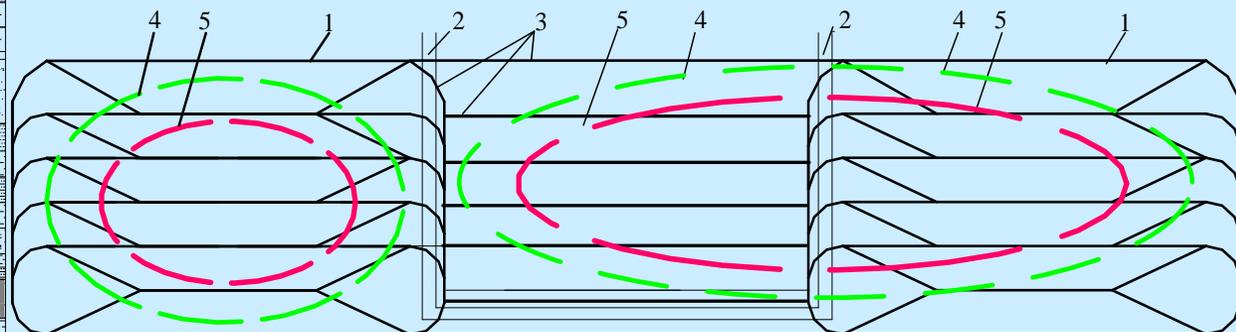
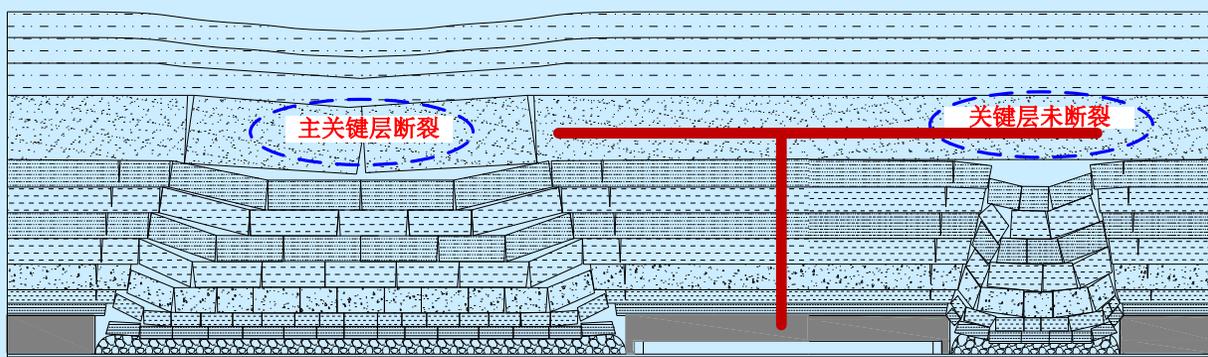
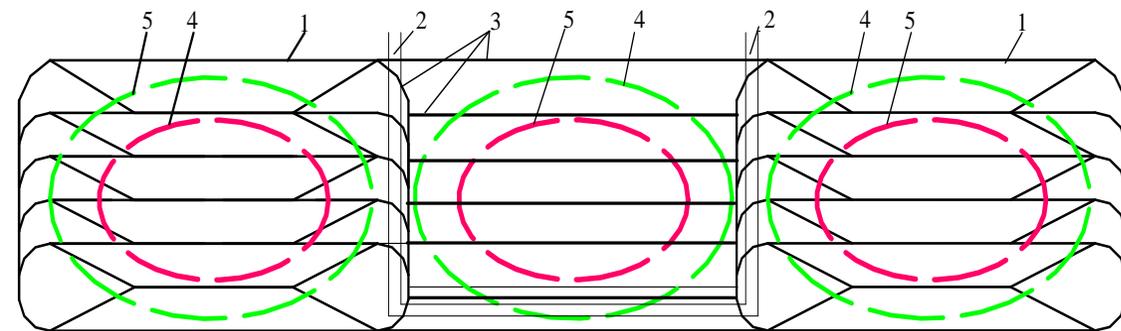
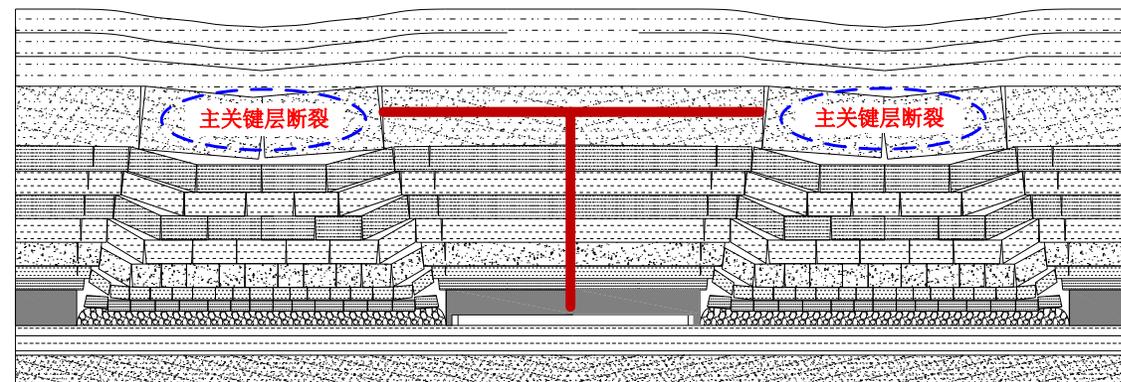
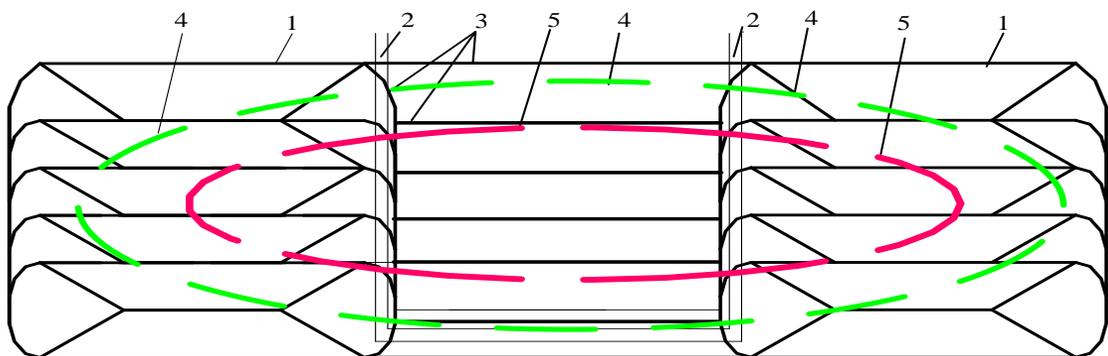
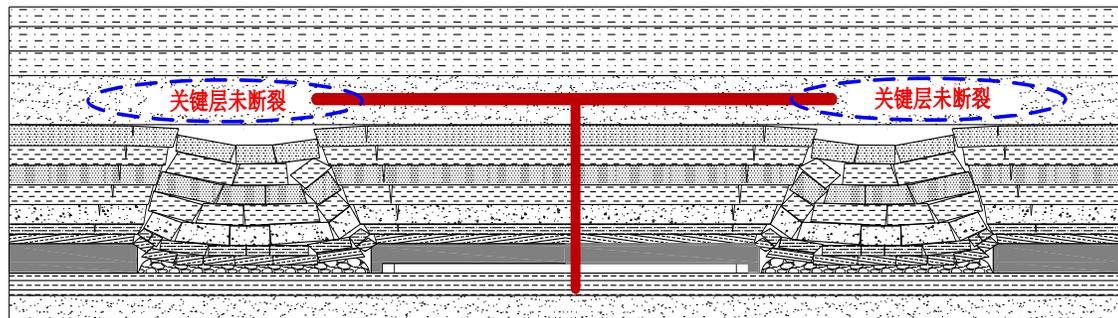


短臂F型结构

# 采动覆岩的空间结构

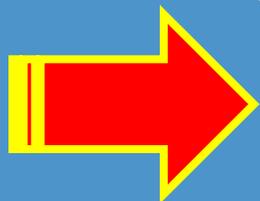


State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M





State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



## 8、综放开采的降载减冲

# 综放开采的降载减冲效应



State Key Laboratory of Coal Resources and Safe M



## ➤ 综放开采+降载减冲效应(2016)

$$\sigma_j + \sigma_d \geq \sigma_{b \min}$$

- 静载 埋深、煤厚、采厚、底煤、煤柱、覆岩结构、“两带”高度等

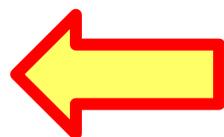
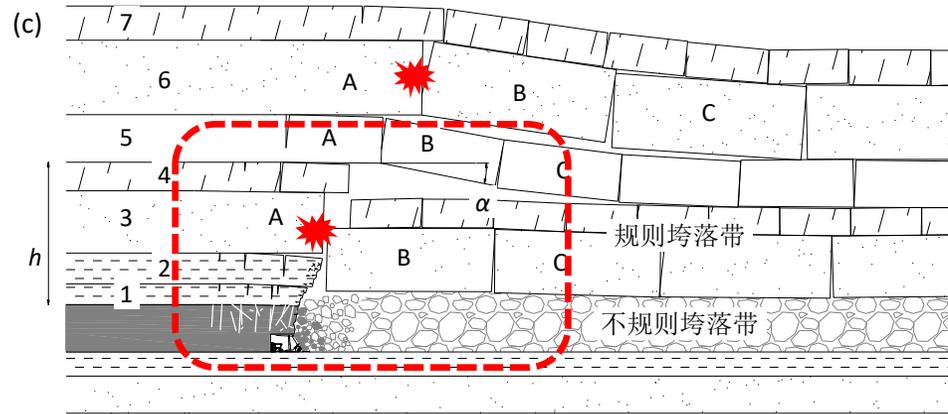
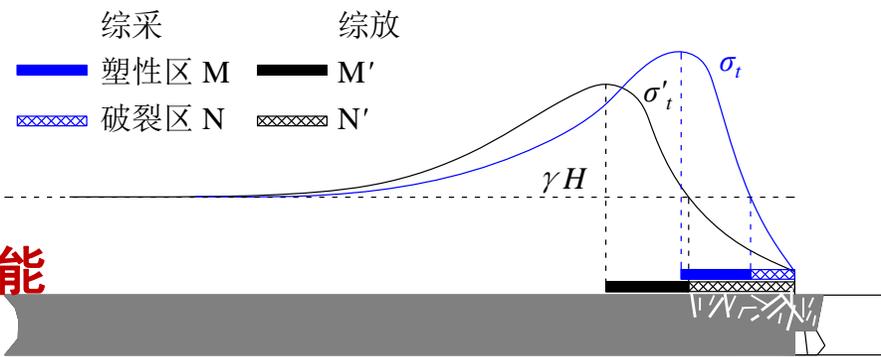
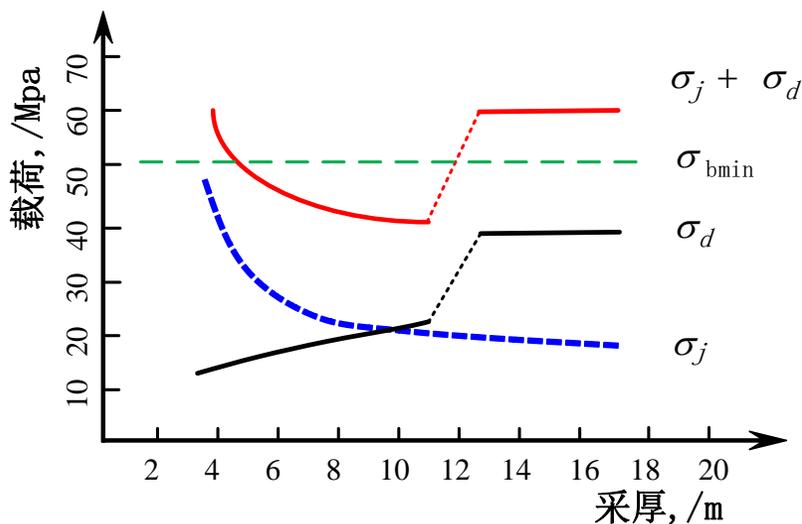
$$\sigma_j = \xi(p_0 + c \cdot \cot \varphi) e^{\frac{2\xi f}{m} x} - c \cdot \cot \varphi$$

- 动载 覆岩破断、顶煤、传播等

$$\sigma_d = \rho_n C_n V_0 \prod_{i=1}^n L_i^{-\lambda_i}$$

保护层降压减震吸能

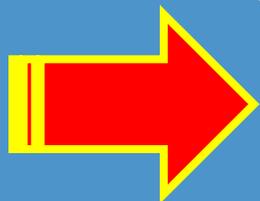
- 临界载荷 煤强度、硬度、裂隙等



综放的降载减冲效应



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



## 9、矿震与采面开采速度

# 工作面推采速度与矿震

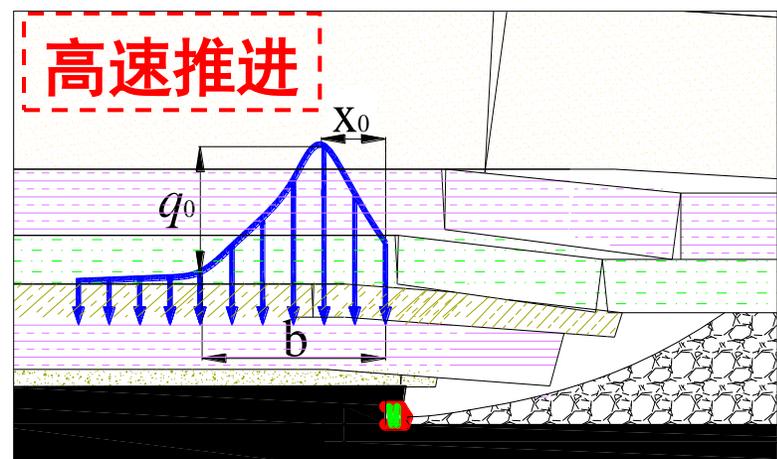
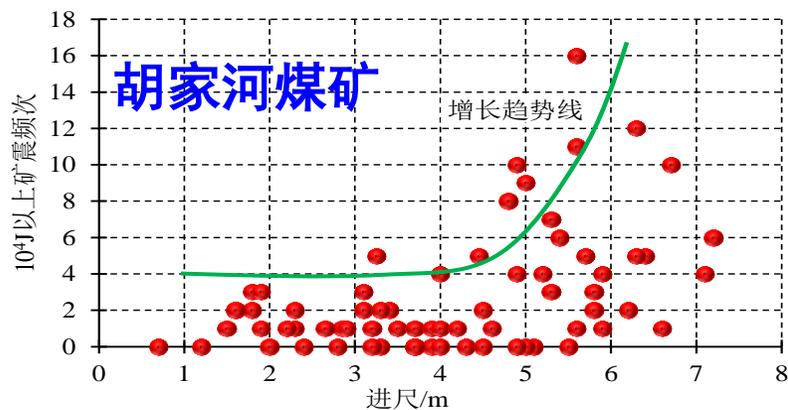
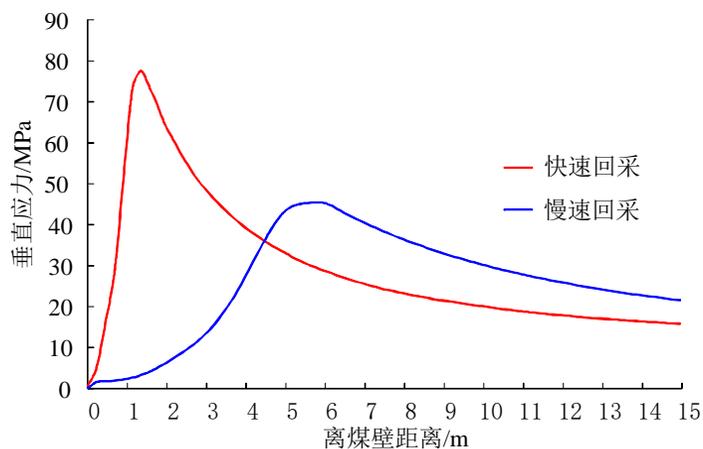
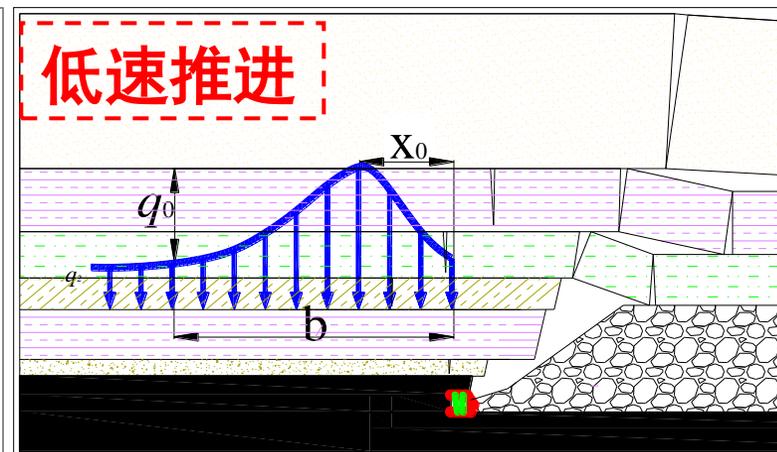
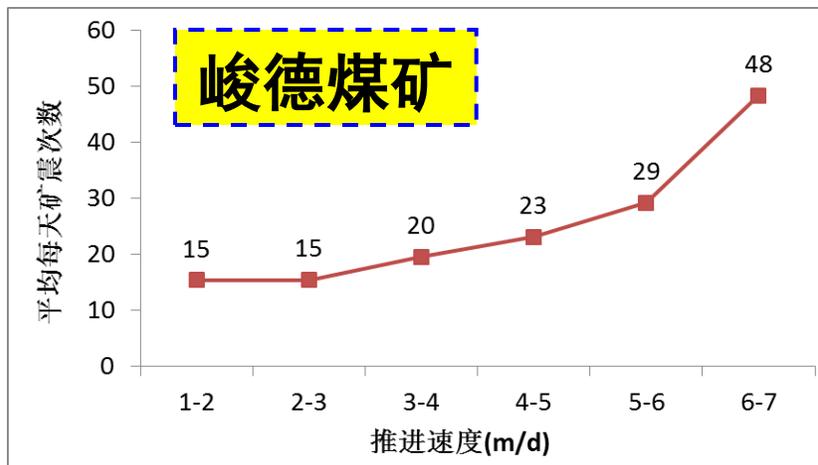


State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe Mining



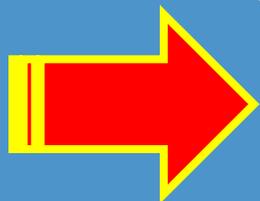
## ➤ 推进速度对冲击危险性的影响

- 回采速度对支承压力与煤体能量聚集的作用
- 回采速度对覆岩悬顶及破断运动的作用
- 构造应力对工作面的回采速度作用强烈





State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



## 10、煤岩瓦斯复合动力灾害

# 煤岩瓦斯复合动力灾害机理



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M

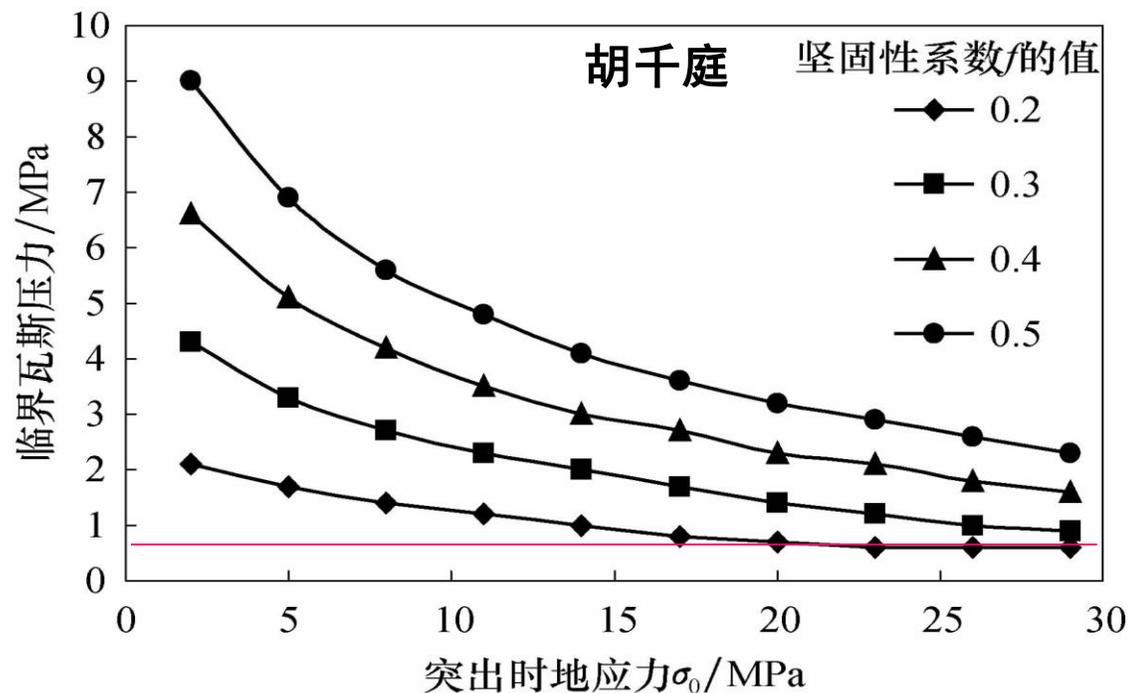
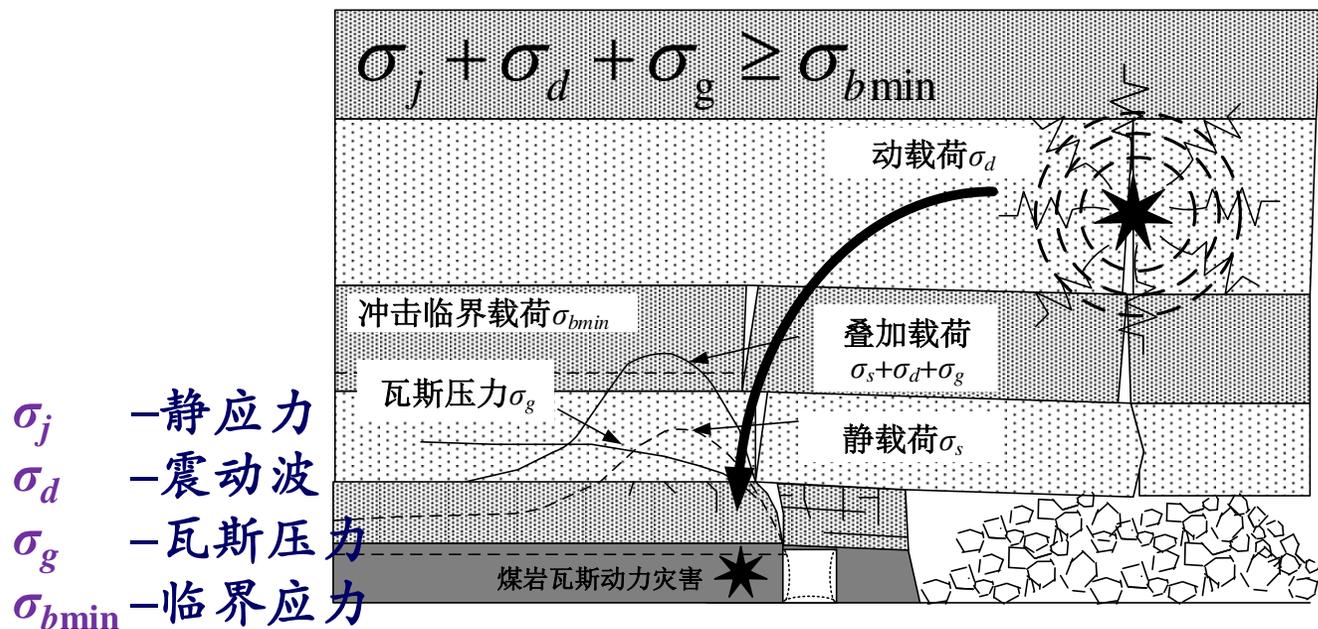


## 高应力+瓦斯压力+矿震→诱发煤岩瓦斯复合灾害

- (1) 灾害地点是高应力集中区和构造应力区;
- (2) 灾害区域存在瓦斯积聚区和高瓦斯压力;
- (3) 动力灾害与矿山震动场有关。
- (4) 灾害临界载荷与煤体强度相关。

灾害条件:

- ◆ 高瓦斯压力;
- ◆ 高地应力;
- ◆ 矿山震动;
- ◆ 煤的强度。



# 煤岩瓦斯复合动力灾害机理

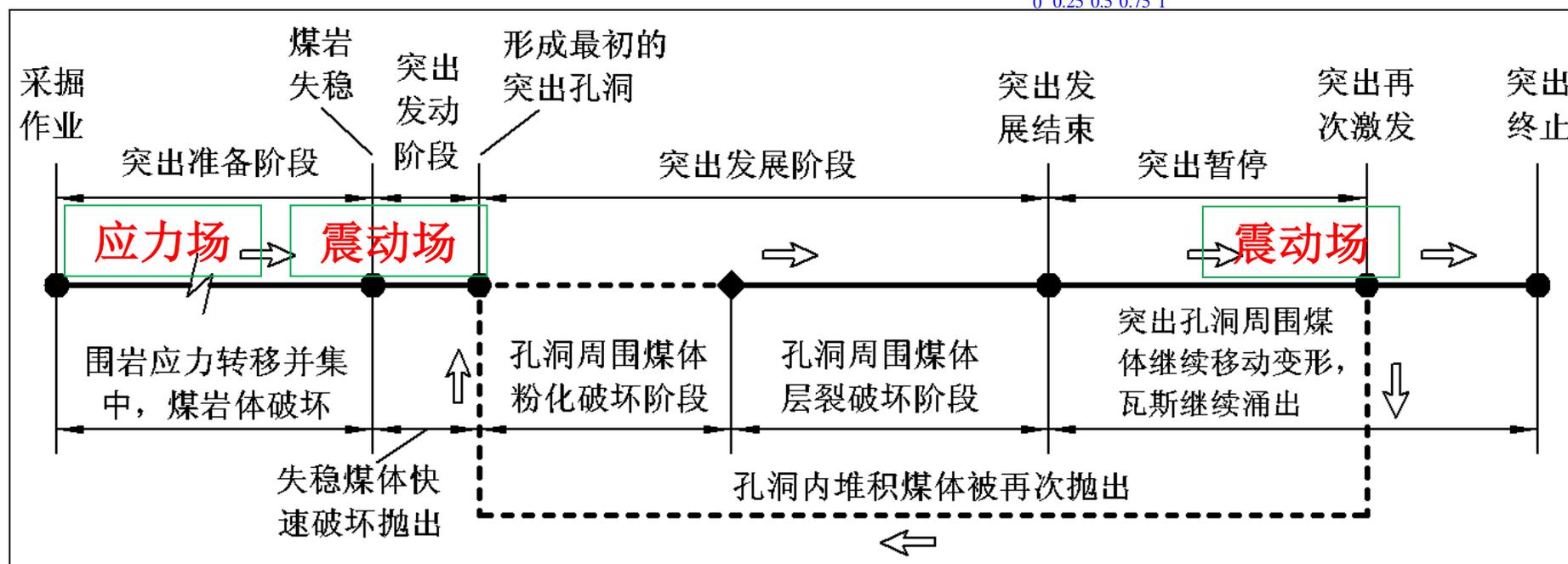
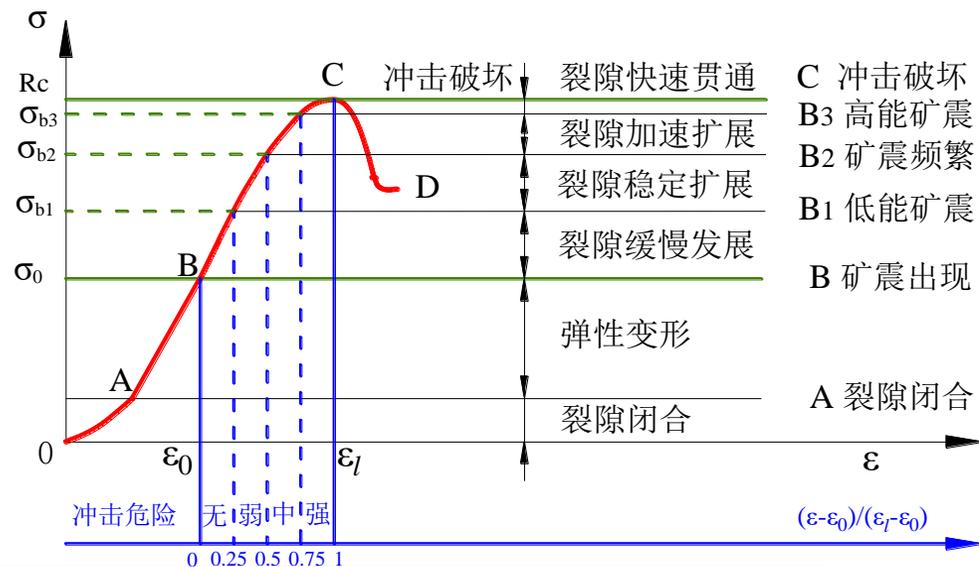


State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe Mining



## 煤岩瓦斯复合灾害的力学条件

- 采掘活动形成支承压力；
- 煤体内瓦斯压力下降，形成压力梯度；
- 应力集中使煤岩体形成剪切破坏，产生矿震，诱发煤与瓦斯突出。



□ 煤岩瓦斯复合动力灾害=动载+静载+气压：叠加作用

$$\sigma_j + \sigma_d + \sigma_g \geq \sigma_{b\min}$$

$\sigma_j$  -静应力  
 $\sigma_d$  -震动波  
 $\sigma_g$  -瓦斯压力  
 $\sigma_{b\min}$  -临界应力

➤ 冲击矿压

$$\sigma_g \ll \sigma_j + \sigma_d$$

➤ 煤与瓦斯突出

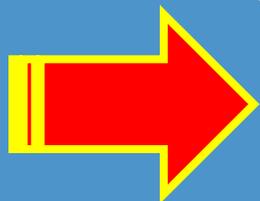
$$\sigma_g \geq \sigma_j + \sigma_d$$

➤ 复合动力灾害

$$\sigma_g + \sigma_j + \sigma_d$$



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



# 11、双震源一体化CT技术

# 应力场双震源一体化CT探测



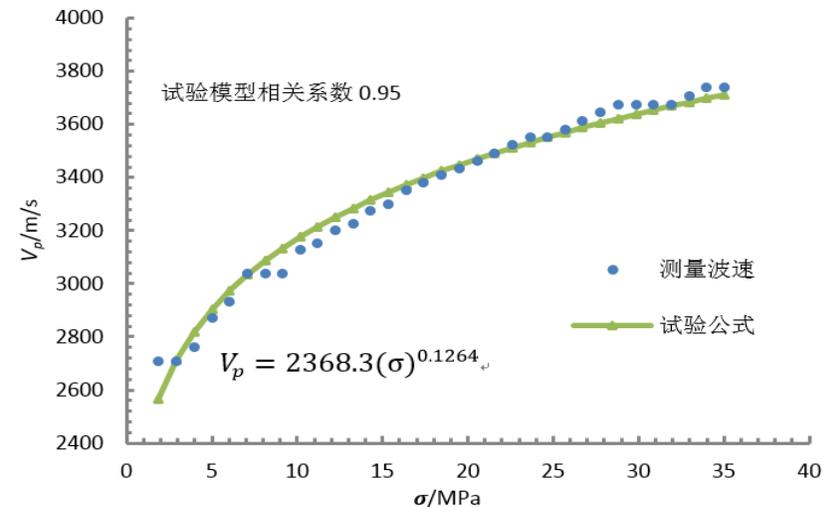
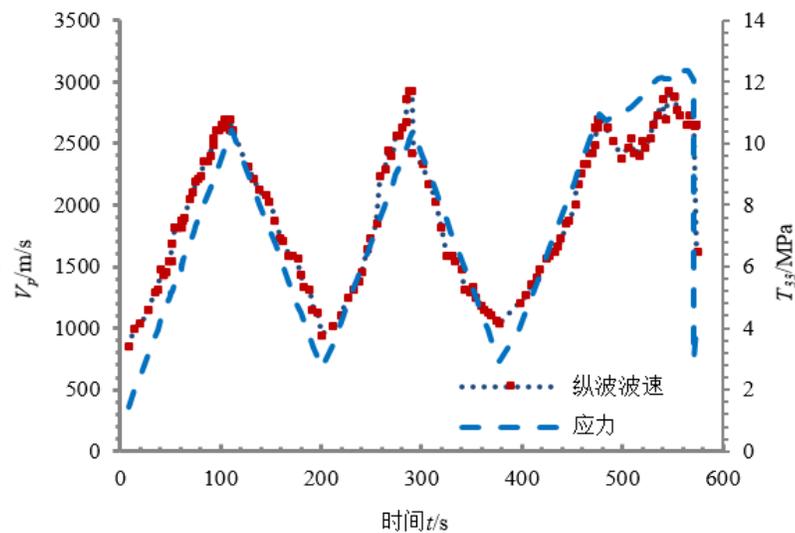
State Key Laboratory of Coal Resources and Safe M



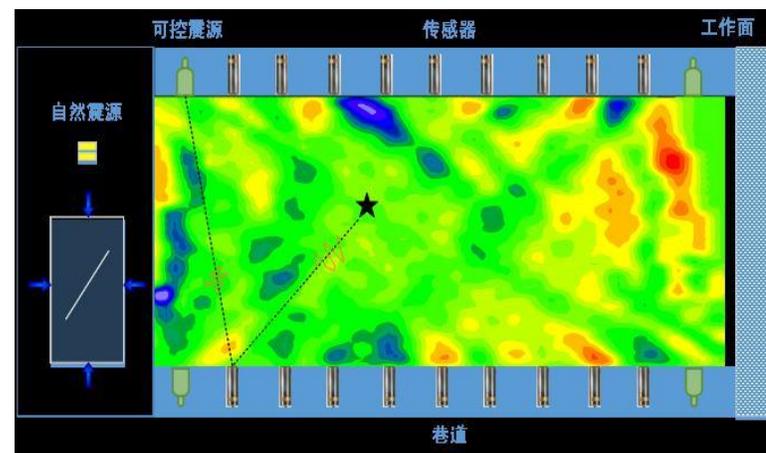
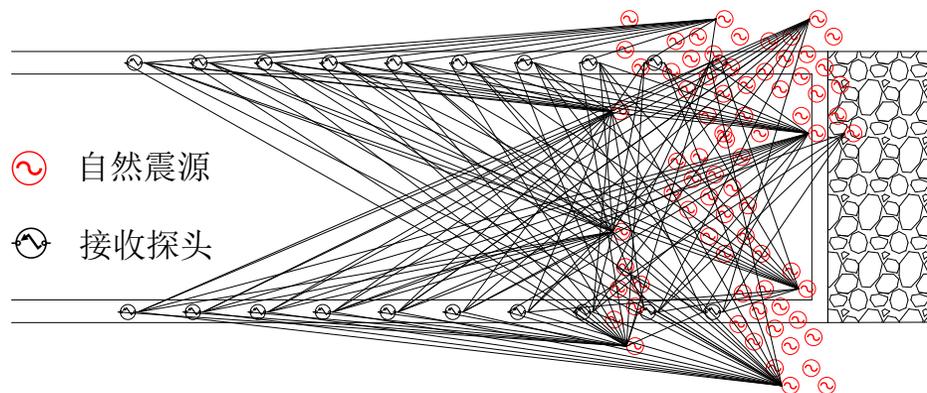
## 理论基础

$$V_p = \varphi (\sigma)^\psi$$

## 实验基础



## 技术思路



# 应力场双震源一体化CT探测

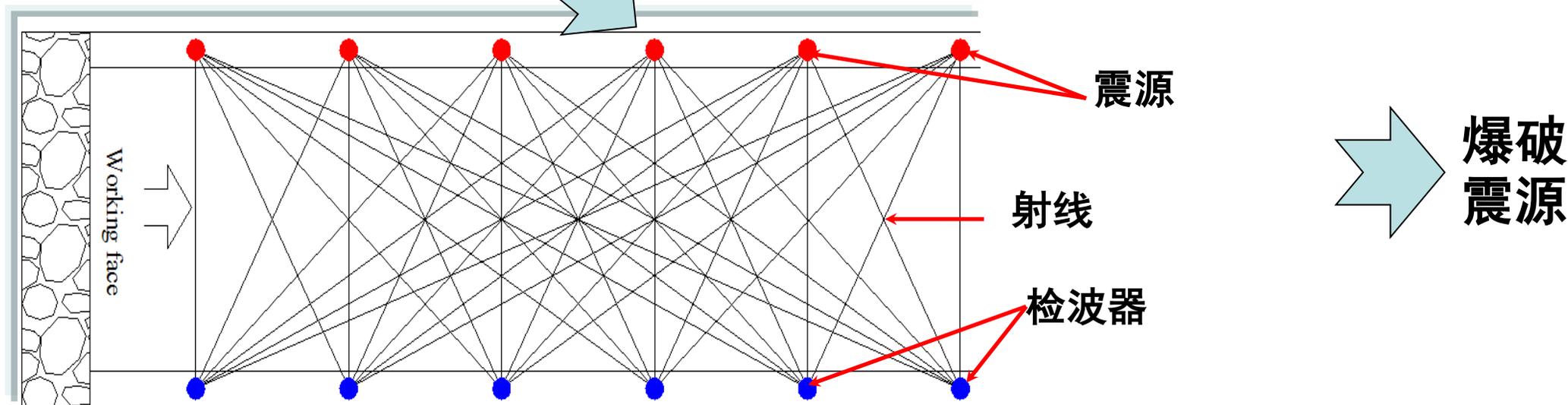
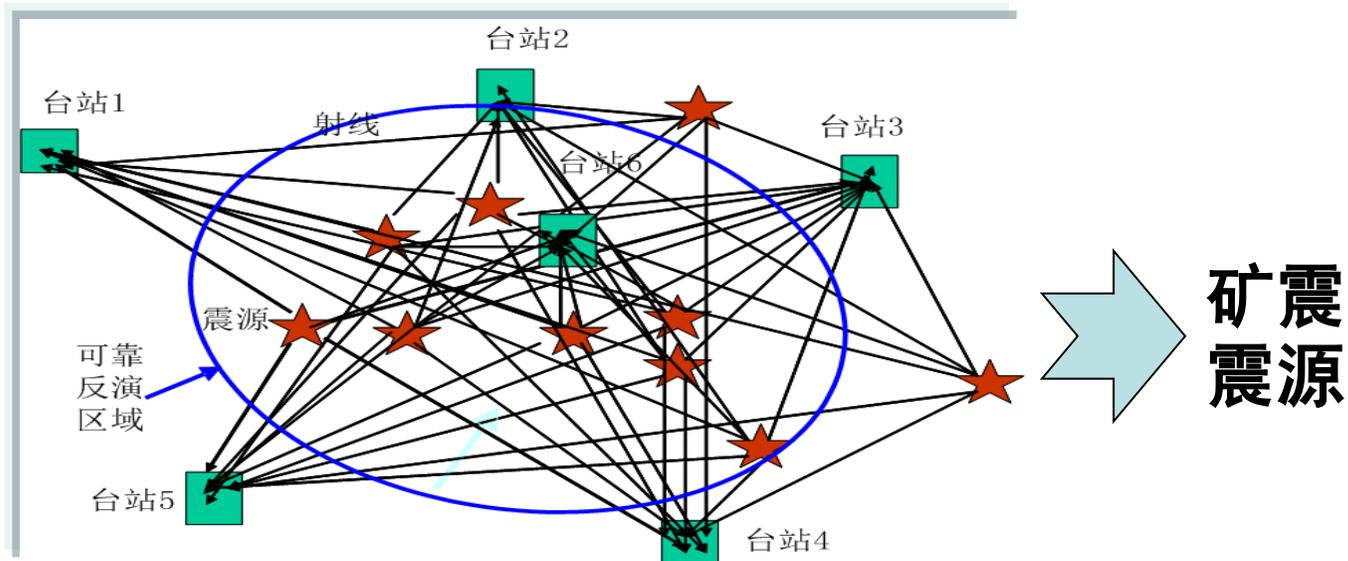


State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



## CT探测技术

- 震动波（被动）CT：  
矿震被动震源
- 弹性波（主动）CT：  
爆破主动震源



# 应力场双震源一体化CT探测



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M

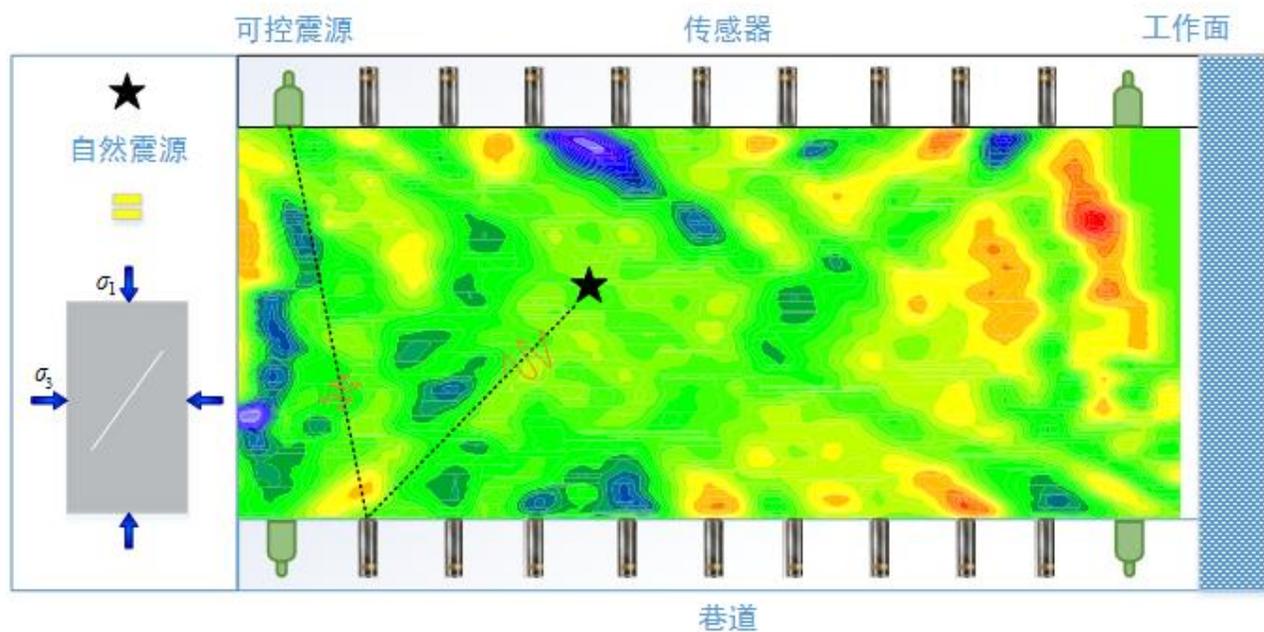
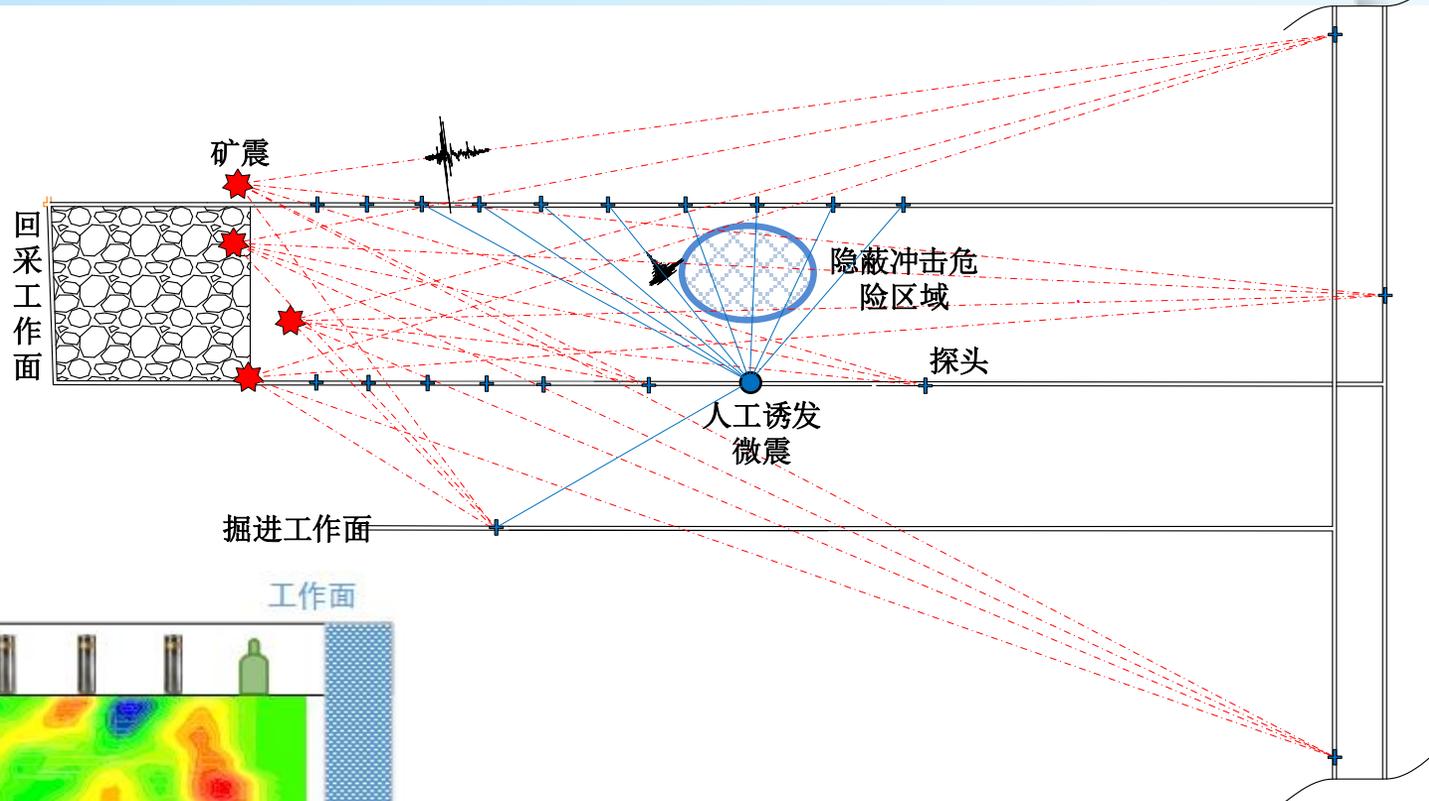


## □ 关键技术

### ➤ 主被动双震源一体化CT:

✓ 双源: 可控震源和自然震源。

✓ 双触发机制: 实现了双源震动波信号的采集和分析。



# 应力场双震源一体化CT探测

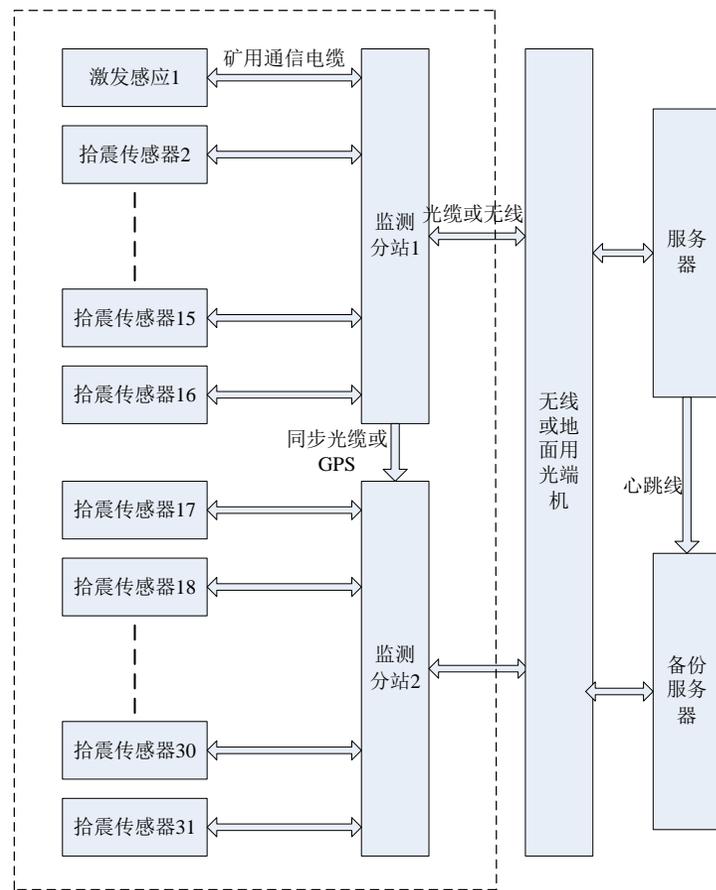
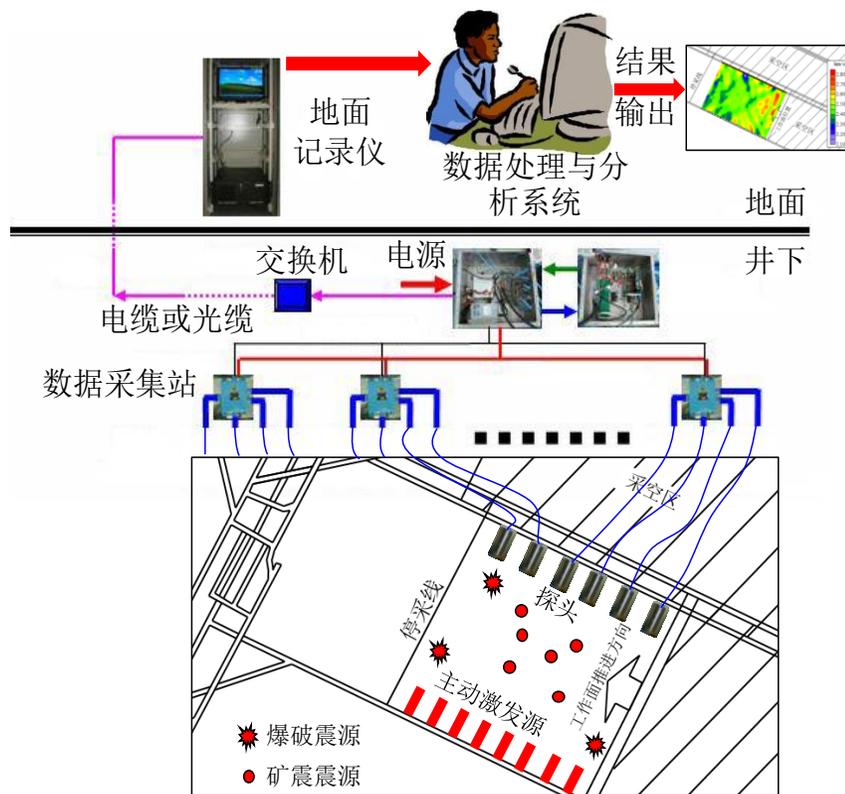


State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



## 关键技术

- 矿山震动智能识别，人工震源在线激发，弹性波CT反演在线智能分析；
- 实现区域应力场快速、在线、智能反演。



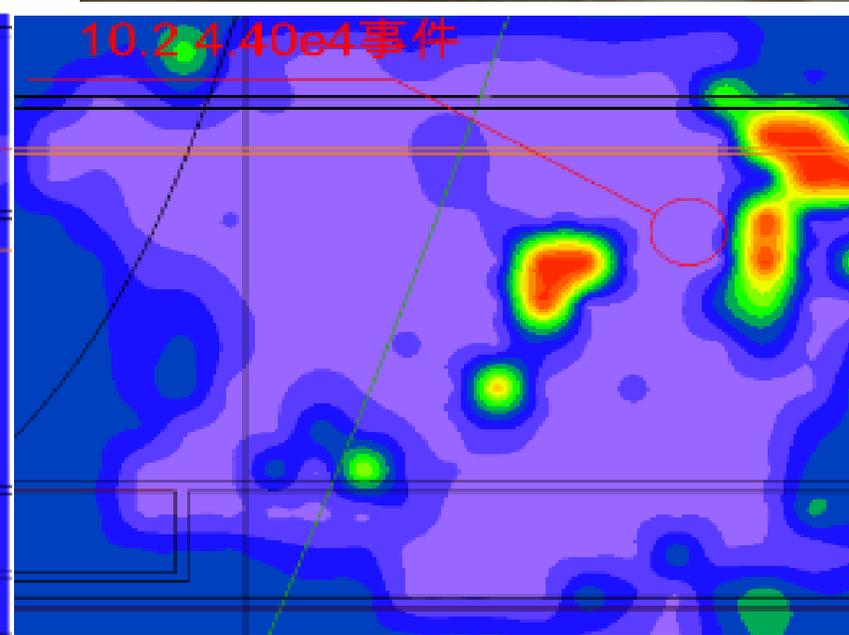
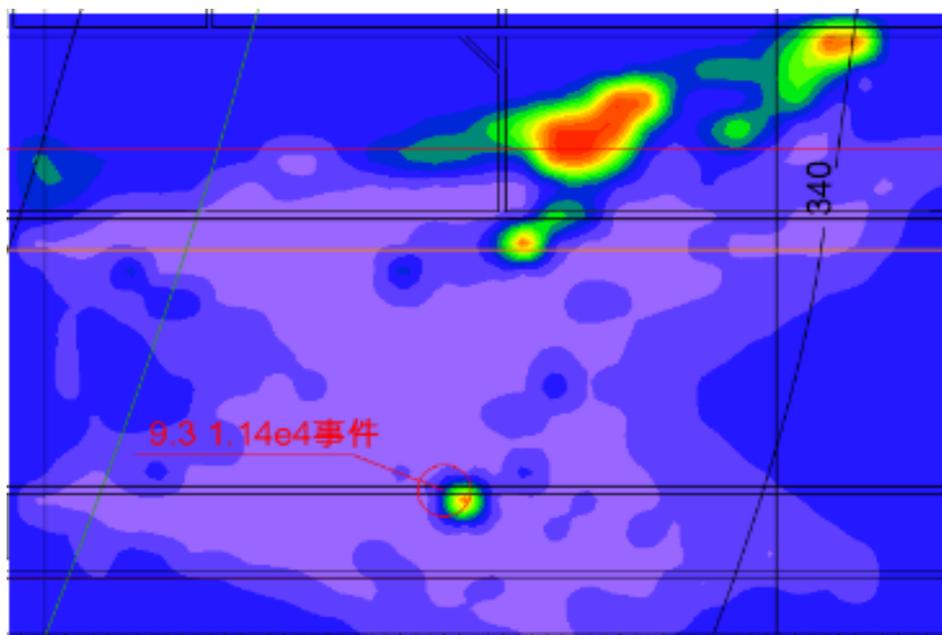
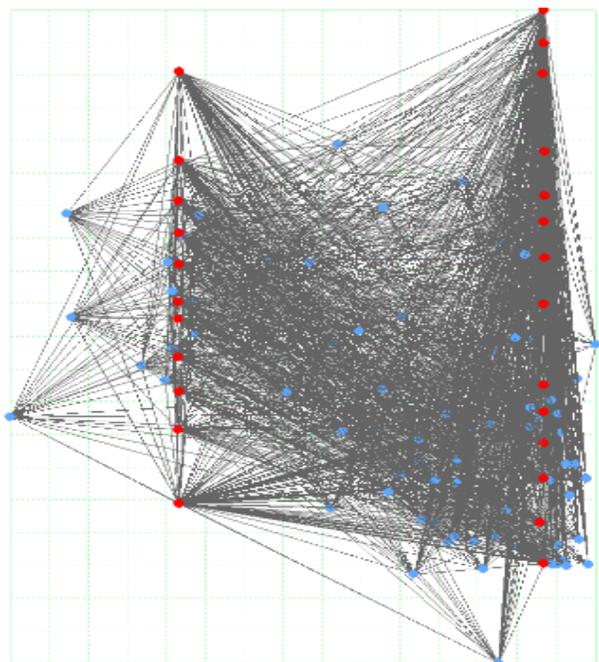
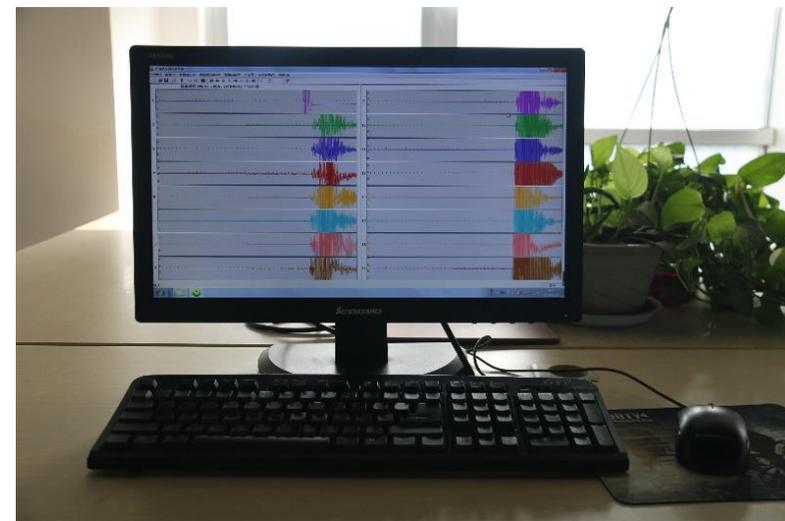
# 应力场双震源一体化CT探测



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



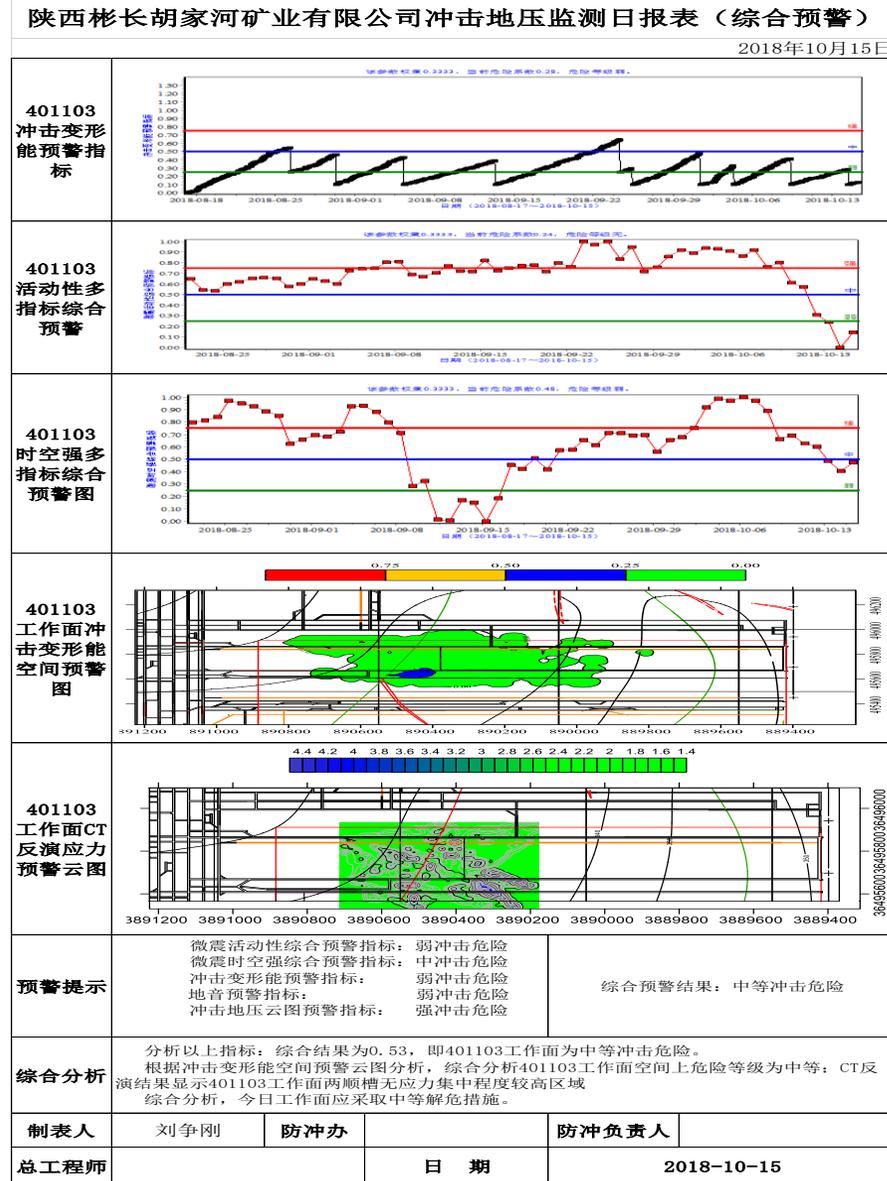
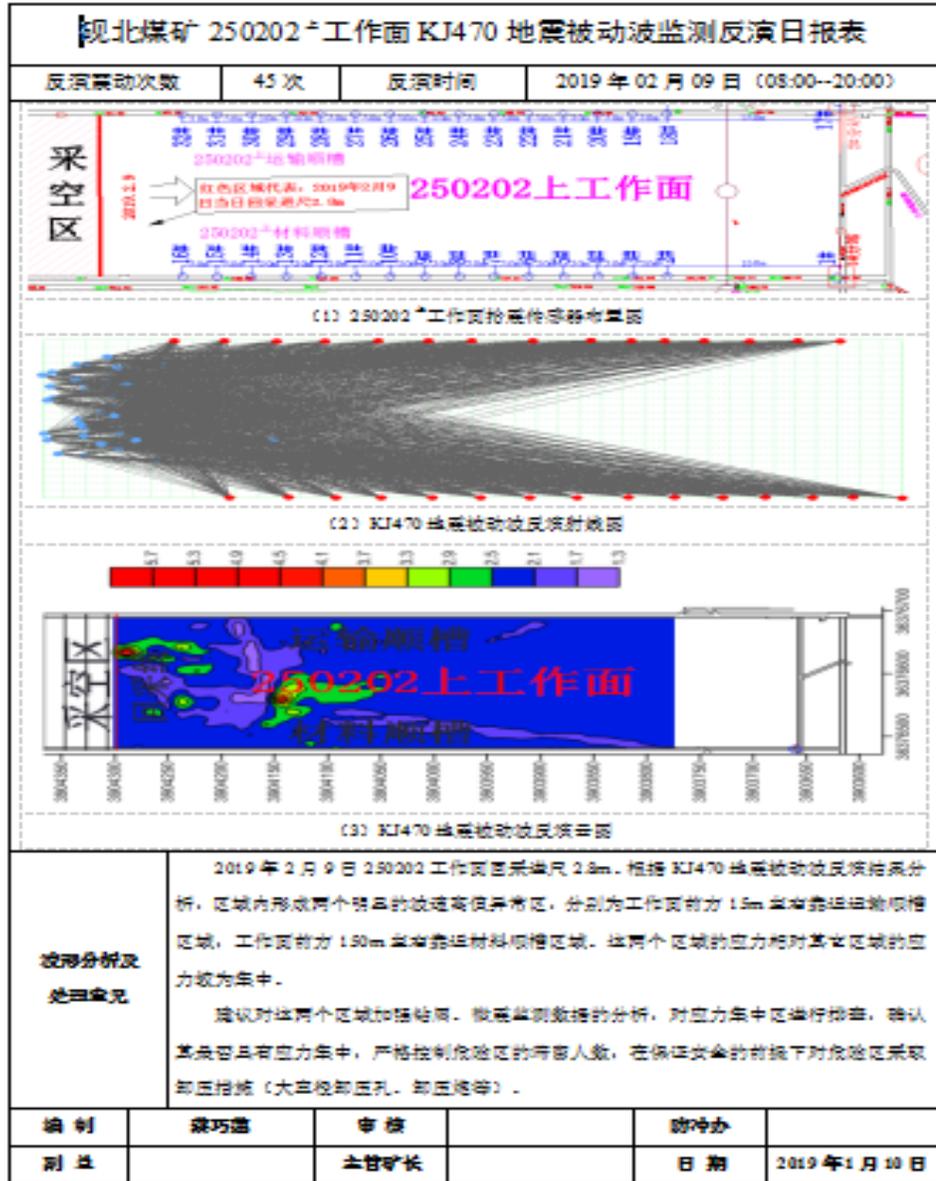
- 示范矿井试验——彬长胡家河矿401103工作面
- KJ470一直处于正常运行状态
- 成功对能量高于10000J的多次震动进行了预警



# 应力场双震源一体化CT探测

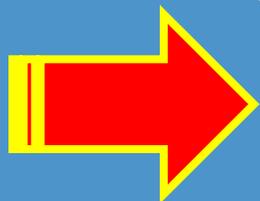


State Key Laboratory of Coal Resources and Safe M

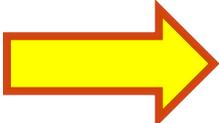
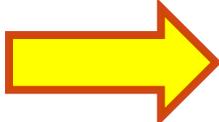




State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



## 12、冲击防治的动静管理

- 组织机构完善 
  - 防冲领导小组
  - 防冲办公室
  - 防冲队伍
  
- 冲击机理清晰 
  - 冲击力源 **清晰**
  - 冲击类型 **明确**
  - 冲击危险区域 **明确**
  
- 冲击防范与解危措施对症
  
- 监测预警指标体系符合现场实际

静  
+  
动

## □ 冲击防范与解危措施对症

- 防冲原则：“区域先行、局部跟进、分区管理、分类防治”
- 治理原则：“源头治理、分级设防、监测预警、智能开采”
- 防冲流程：“评价、设计、监测预警、防范解危、效果检验”
- 防治原则：“强监测、强卸压、强支护、强防护”

## □ 监测预警指标体系符合现场实际

- 监测指标：“理论、分类、观测统计 → 确定指标值”
- 采掘参数及劳动组织：按照监测结果确定：“推进速度、停采线、采掘关系、避让限员等”
- 解危措施：按照监测结果确定：“措施实施地点、措施方法、防治参数确定等”

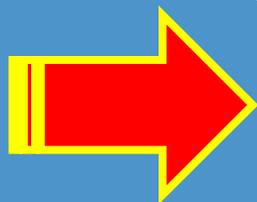


# 汇报提纲

- 一、中矿大煤矿冲击矿压主要研究成果
- 二、冲击矿压防治有关问题的研究探讨
- 三、冲击矿压风险判识与监测预警云平台



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



# 理论基础

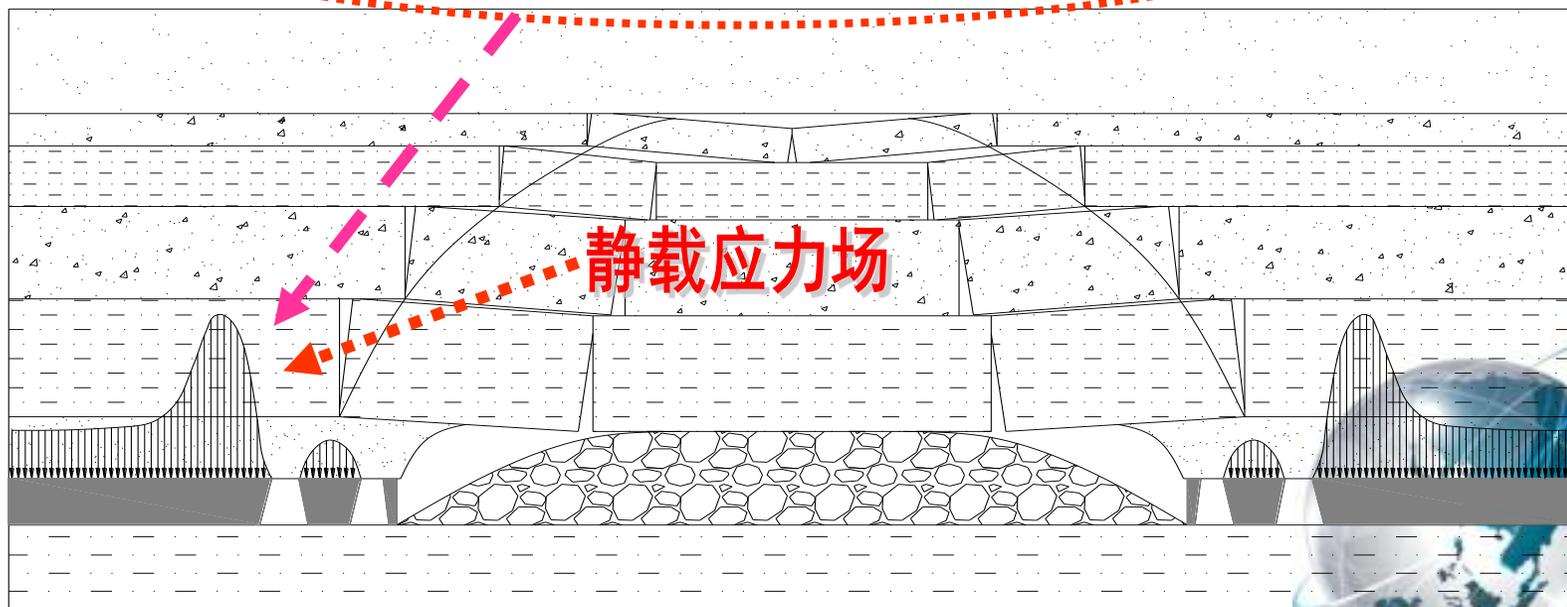
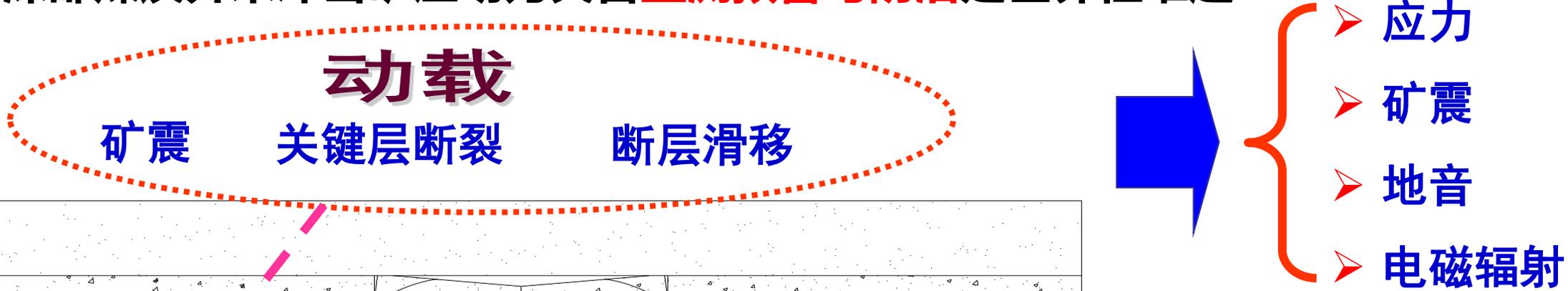
# 理论基础



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



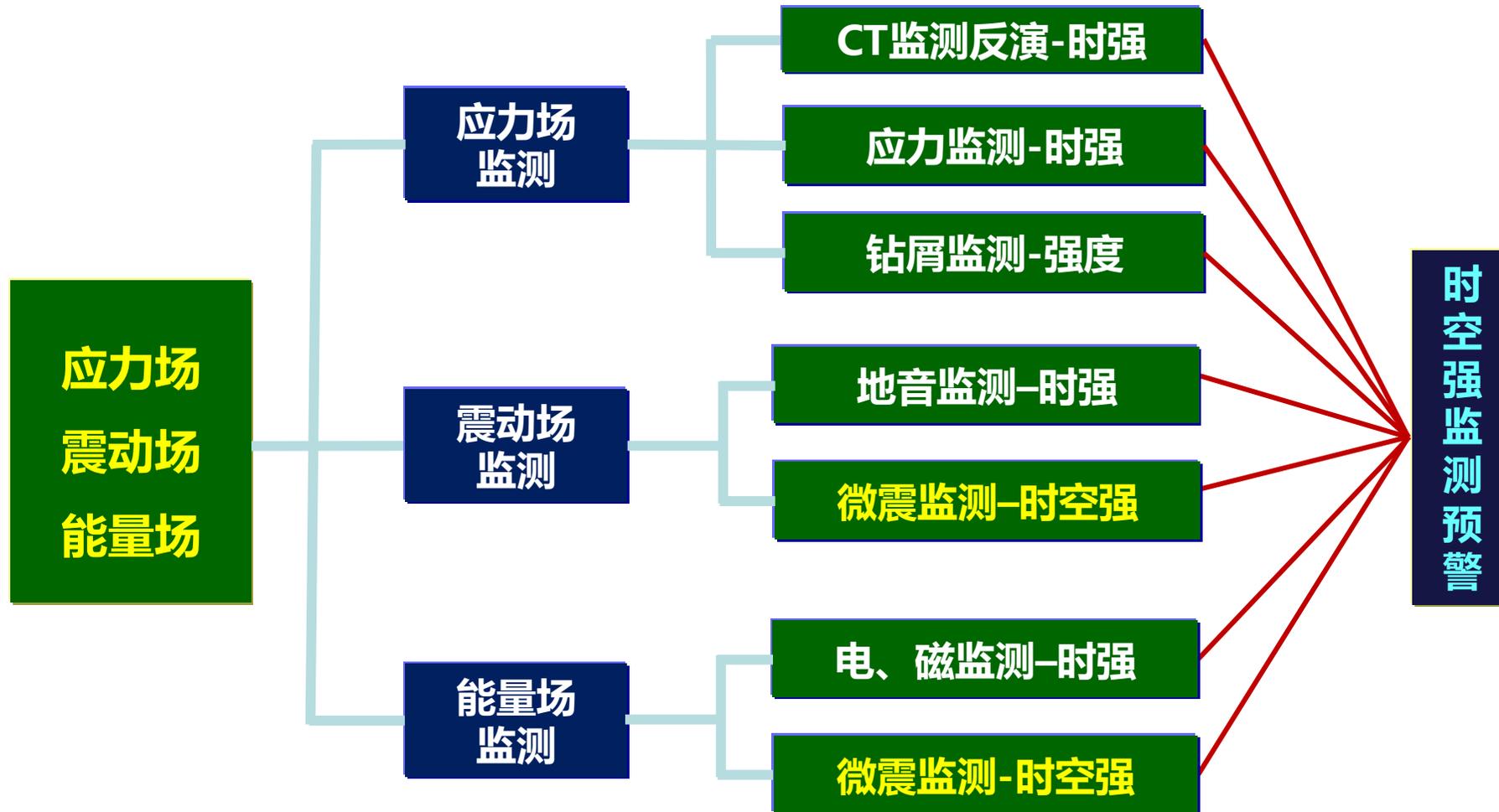
- 冲击矿压是**应力场、震动场、能量场**“三场”共同耦合作用的结果；
- 深部煤炭开采冲击矿压动力灾害**监测预警与防治**是世界性难题！



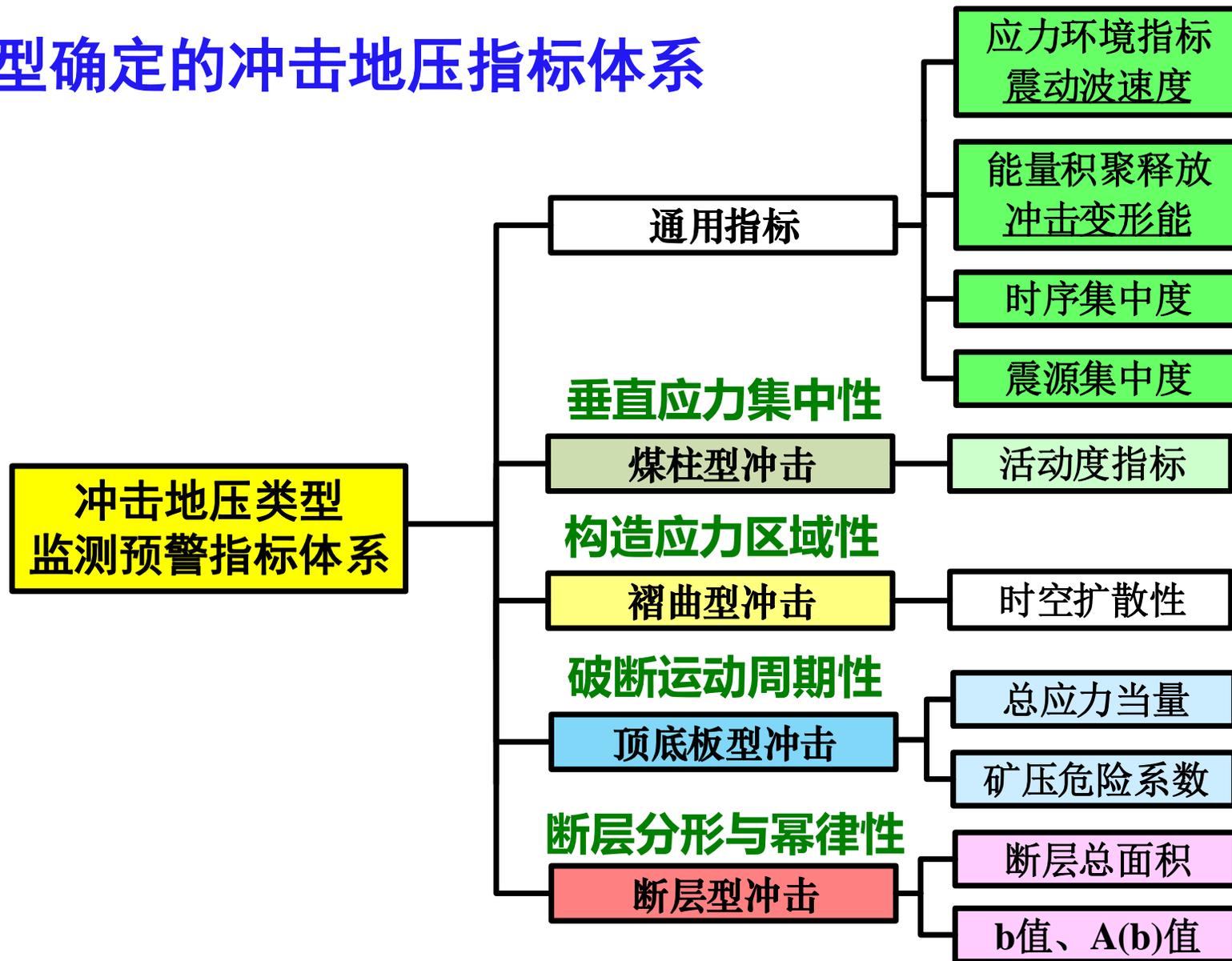
$$D' \propto W' \propto w(t) \propto \varepsilon'$$

- 关键问题：**
- ✓ 应力场与震动场探测
  - ✓ 能量场的监测
  - ✓ 多参量统一参量

## □ 应力震动能量“三场”监测技术方法



## 按冲击类型确定的冲击地压指标体系



# 监测预警指标体系



CISM

State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



## 冲击地压 风险 判识 监测 预警 指标 体系

### 智能判识风险区域等级

#### 风险智能判识指标

综合指数法

多因素耦合分析法

动静载应力叠加法

### 时空强监测预警

#### 应力-震动-能量 三场监测预警指标

应力场监测

震动场监测

能量场监测

CT监测-空强

应力监测-时强

钻屑监测-强度

矿震-时空强

变形能-时空强

地音电磁-时强

### 智能时空定量分级预警

#### 冲击地压多参量监 测预警指标体系

应力环境指标

微震时间指标

微震空间指标

微震能量指标

区域纵横波速

矿压危险系数

时序集中度

活动度指标

震源集中度

时空扩散性

冲击变形能

总应力当量

b值、A(b)值

断层总面积

冲击危  
险区域

冲击危  
险等级

冲击危  
险时间

冲击危  
险强度

# 冲击危险的多参量无量纲监测预警判别准则



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe Mining



## 变形准则

$$0 \leq W_n(t) = \frac{\varepsilon(t) - \varepsilon^0}{\varepsilon_l - \varepsilon^0} \leq 1 \quad \varepsilon(t) \geq \varepsilon^0$$

## 多参量准则

$$0 \leq W_n(t) = \frac{N(t) - N^0}{N_l - N^0} \leq 1 \quad N(t) \geq N^0$$

## 归一化准则

➤ 正向指标

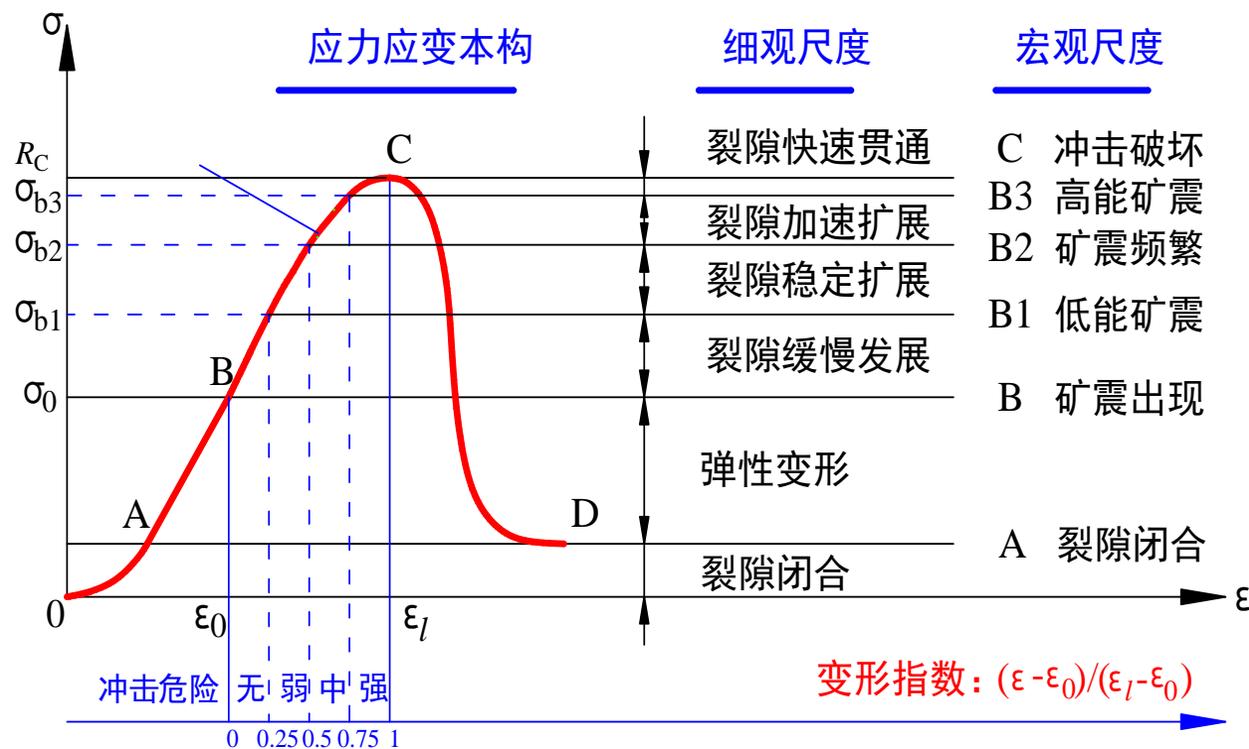
$$F_i = [(R_i - R_{\min}) / (R_{\max} - R_{\min})]$$

➤ 负向指标

$$F_i = [(R_{\max} - R_i) / (R_{\max} - R_{\min})]$$

➤ 双向指标

$$F_i = R'_i / R'_{\max}$$



$$W_{ij} = \frac{e - e^{1 - \lambda_{ij}(t)}}{e - 1}$$



异常指数  
归一化

$$\lambda_{ij}(t) = (Q_{ij} - Q_{\min}) / (Q_{\max} - Q_{\min})$$

$$\lambda_{ij}(t) = [(Q_{\max} - Q_{ij}) / (Q_{\max} - Q_{\min})]$$

$$W = \sum \omega_{ij} \cdot W_{ij}$$

## 冲击危险多参量判别准则

$$0 \leq W_n(t) = \frac{N(t) - N^0}{N_\ell - N^0} \leq 1 \quad N(t) \geq N^0$$

冲击危险等级	冲击危险状态	冲击危险指数	冲击矿压危险防治对策
A	无	$\leq 0.25$	所有的采掘作业正常进行。
B	弱	0.25—0.5	所有的采掘作业正常进行。作业中加强冲击矿压危害危险状态的监测预报。
C	中等	0.5—0.75	下一步的采矿工作应与该危险状态下的冲击矿压危害防治措施一起进行，且通过预测预报确定危险程度不再上升。
D	强	$> 0.75$	应当停止采掘作业，人员撤离危险地点。采取强度弱化减冲治理措施。采取措施后，通过卸压效果监测检验，冲击危害消除后，方可进行下一步采掘作业。

## □ 监测预警指标权重动态调节方法

综合值

$$F_{icom} = \frac{0.75F_S + 0.50F_M + 0.25F_W}{0.75+0.50+0.25}$$

指标权重

$$a_i = \frac{F_{icom}}{\sum F_{icom}}$$

混淆计算矩阵

		实际状况		
		真	假	
预警状况	真	“真-真” (TP)	“真-假” (FP)	精确率 $precision = TP / (TP + FP)$
	假	“假-真” (FN)	“假-假” (TN)	负向预测值 $negative\ predictive\ value = TN / (TN + FN)$
		召回率 $recall = TP / (TP + FN)$	特异性 $specificity = TN / (FP + TN)$	准确性 $accuracy = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN)$

$$F = \frac{2}{1/recall + 1/precision}$$

## □ 冲击地压预测效能检验方法

➤ **R值评分法：**充分考虑了虚报、漏报和数据服务时间的影响

$$R = c - b = n_1^1 / N_1 - n_0^1 / N_0$$

➤ **概率增益法：**充分考虑背景概率的影响，且与预测的时、空、强和范围无关：

概率增益：

$$G_A = P(E/A) / P(E)$$

**R=0** → 随机预报  
**R<0** → 指标失效  
**R>0** → 指标起效  
**R=1** → 全报对  
**R越大，预测效果越好**

**$G_A < 1$**  → 指标失效  
 **$G_A = 1$**  → 随机预报  
 **$G_A > 1$**  → 指标起效  
 **$G_A$ 越大，预测效果越好**

漏报率： $a = n_1^0 / N_1$   
误报率： $b = n_0^1 / N_0$   
有冲击报准率： $c = n_1^1 / N_1$   
无冲击报准率： $d = n_0^0 / N_0$

# 监测预警云平台数据处理流程



CISM

State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining



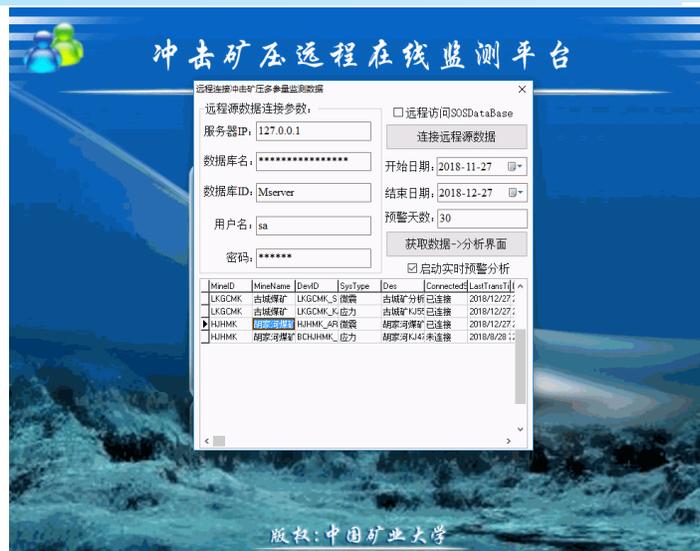
冲击地压风险辨识

监测预警指标体系

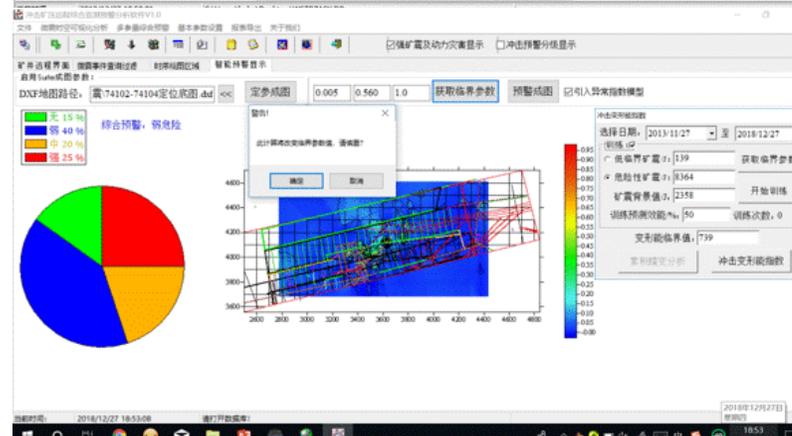
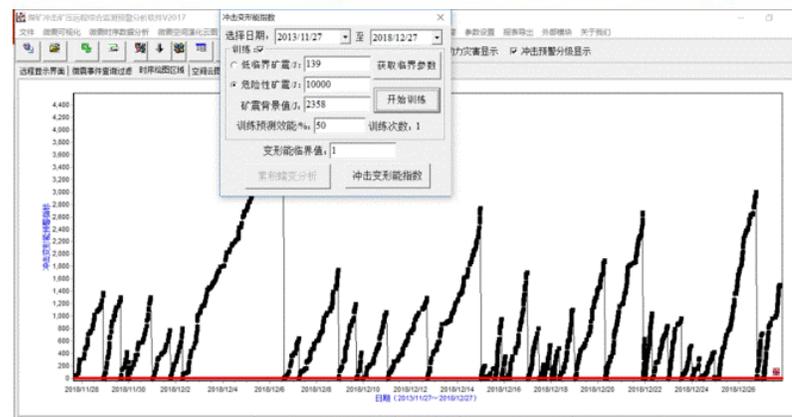
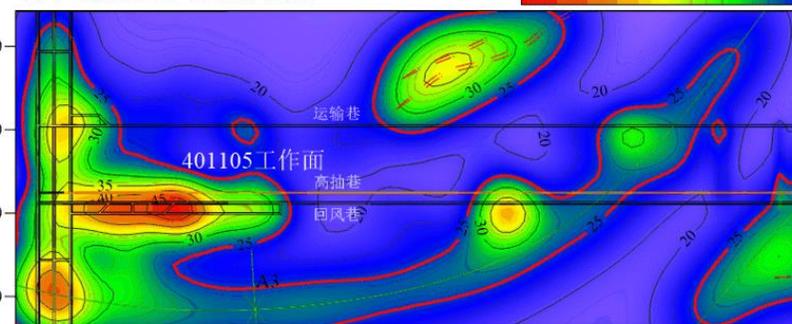
智能评价危险等级

预测结果发布

远程在线管理



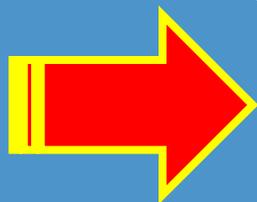
多因素综合智能辨识



聚类分析  
神经网络  
样本训练  
自主学习  
权重调整  
综合判别

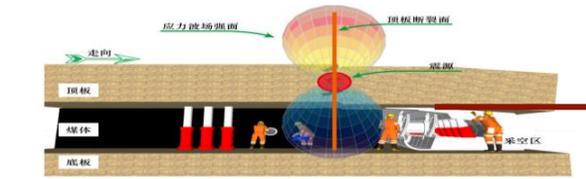
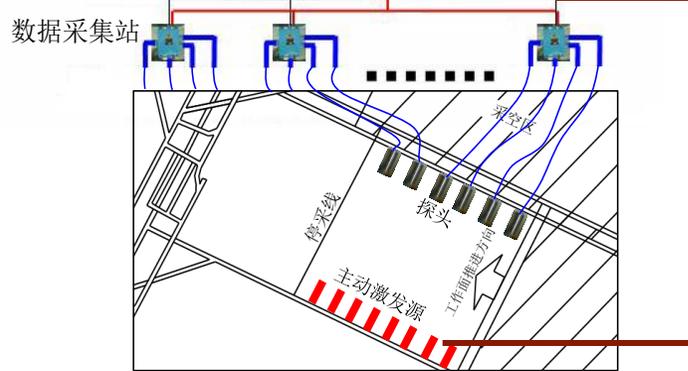


State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M

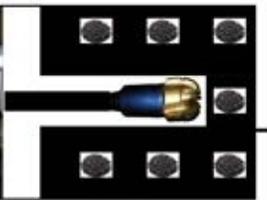


# 云平台功能

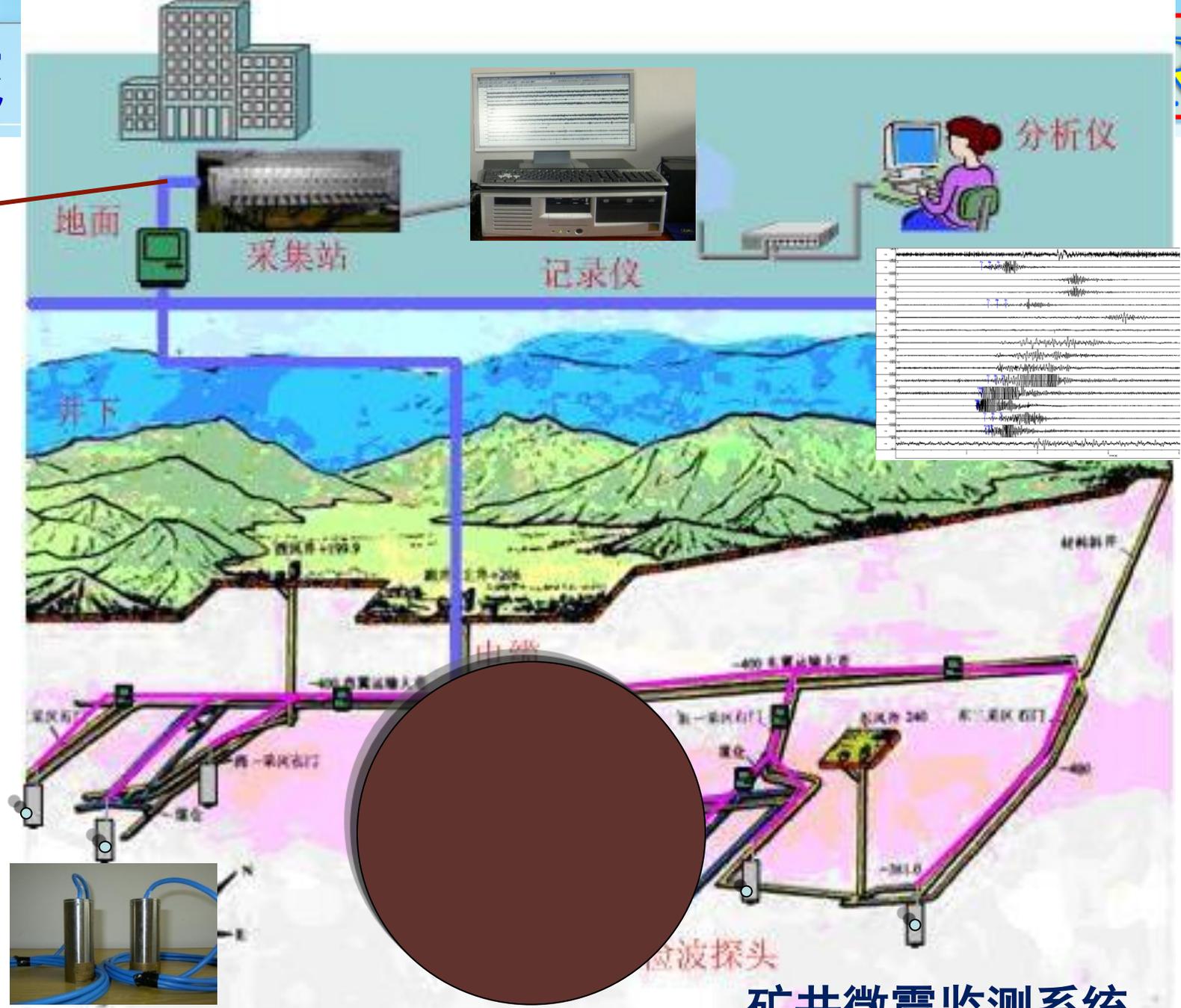
# 煤矿监测系统



千米定向钻机

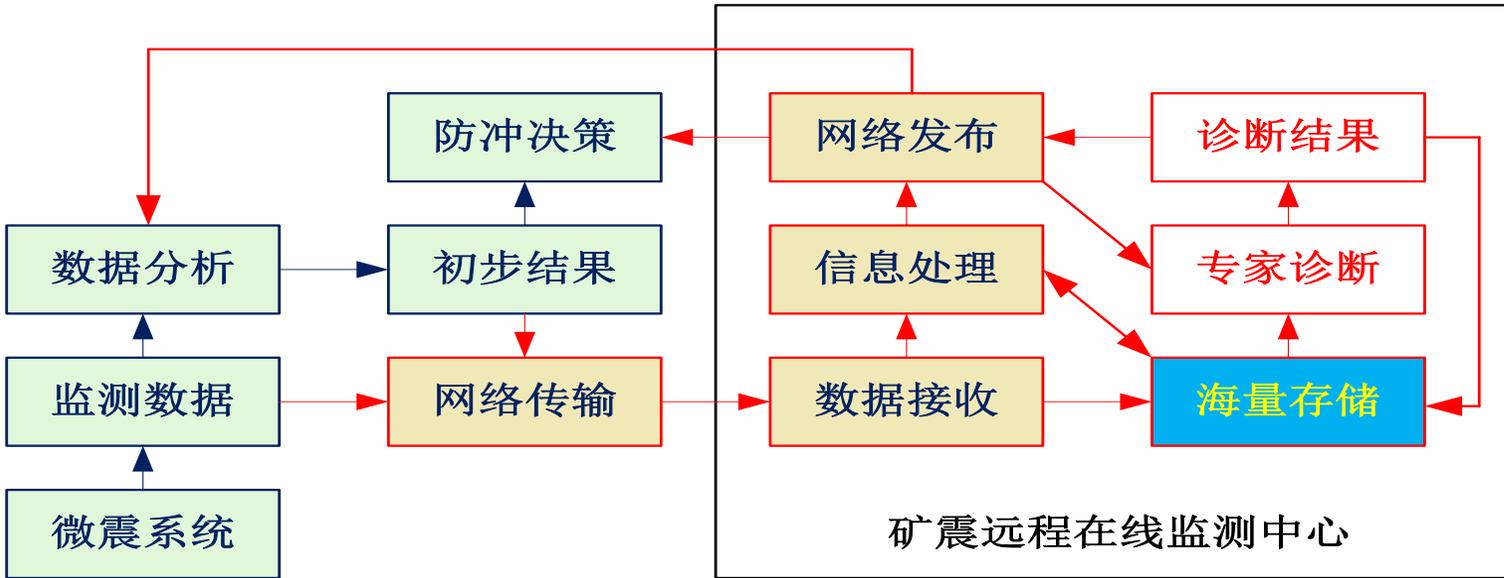
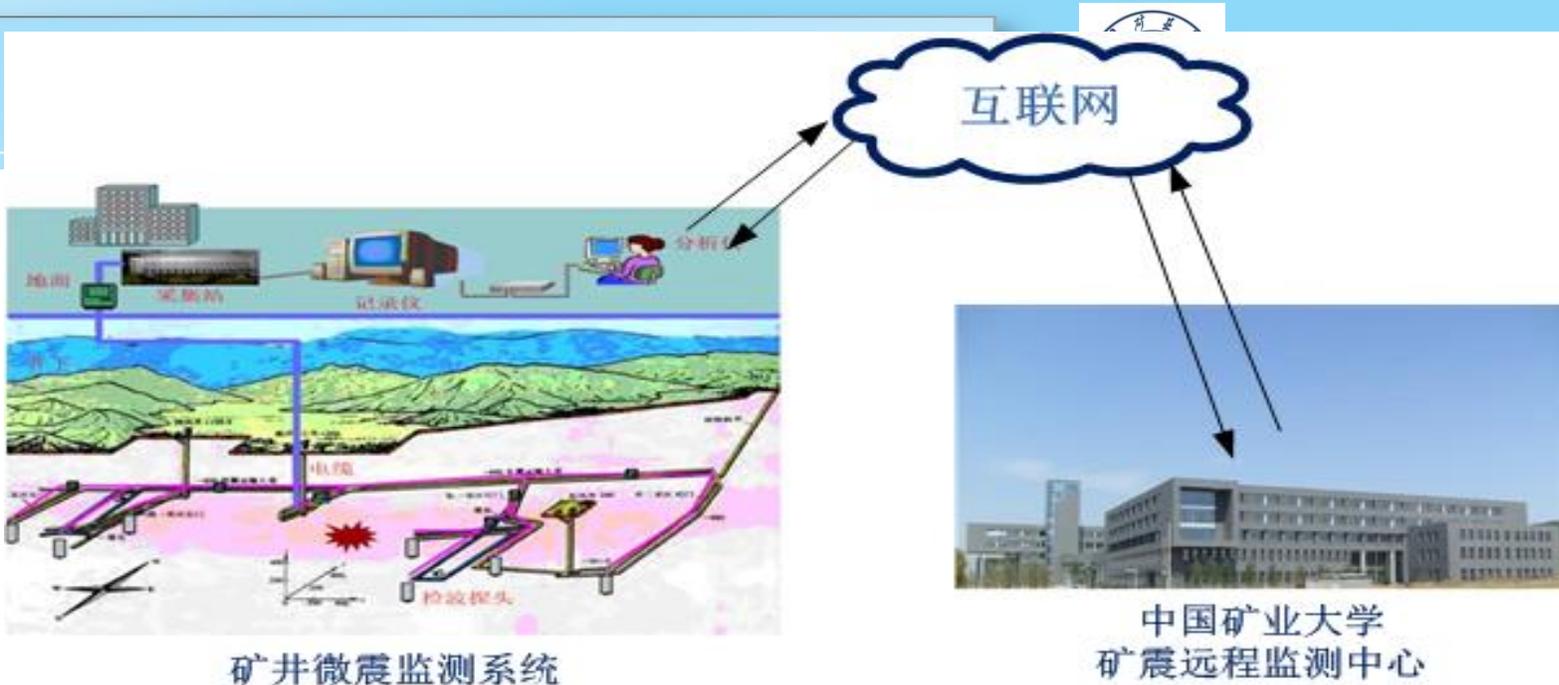


随钻探测



## 矿井微震监测系统

# 矿震远程监测中心



监测中心工作模式

# 矿震远程在线监测平台

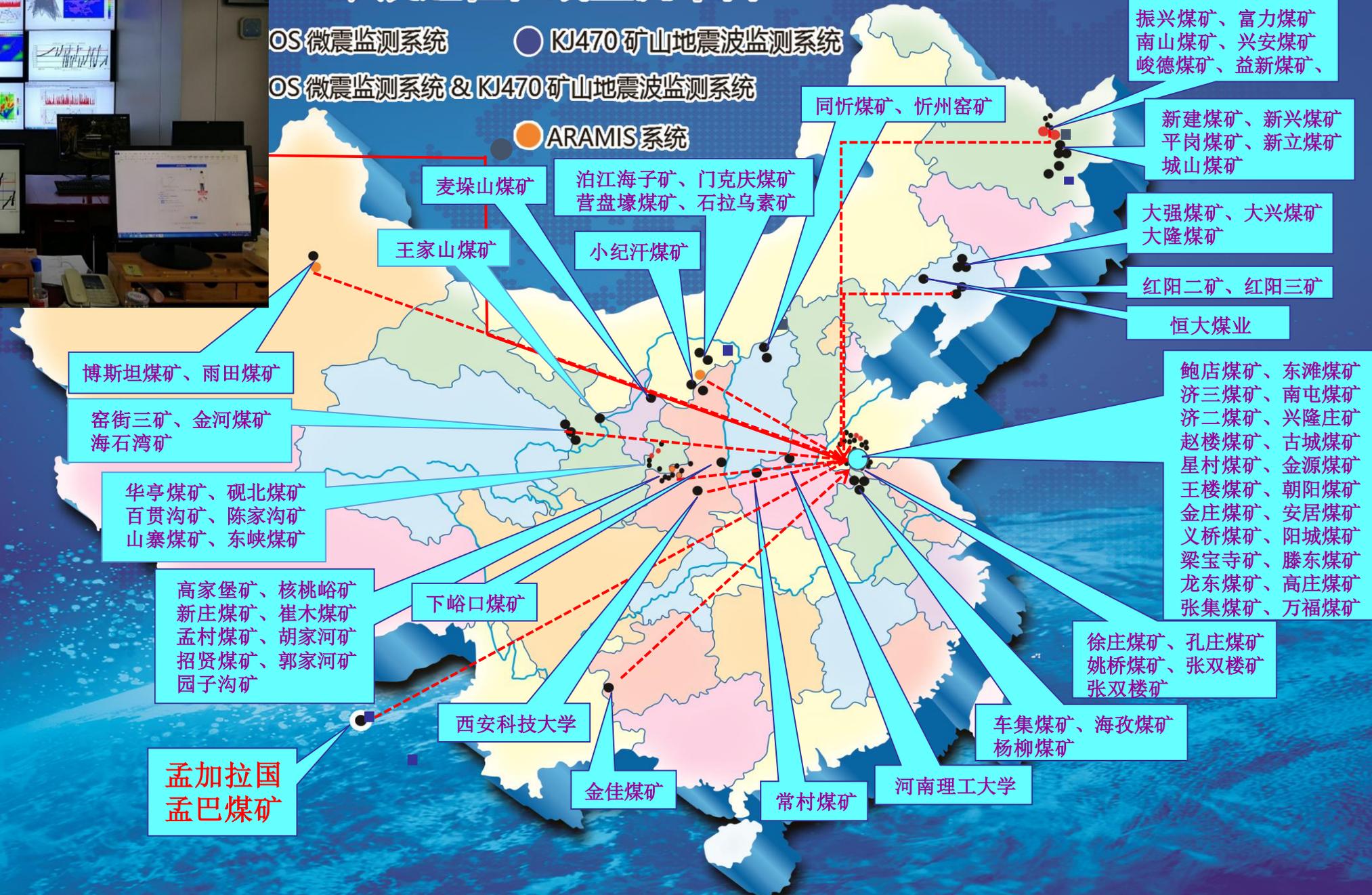


OS 微震监测系统

● KJ470 矿山地震波监测系统

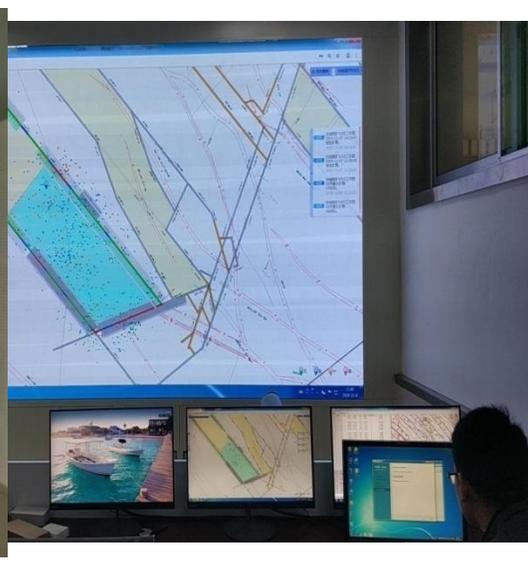
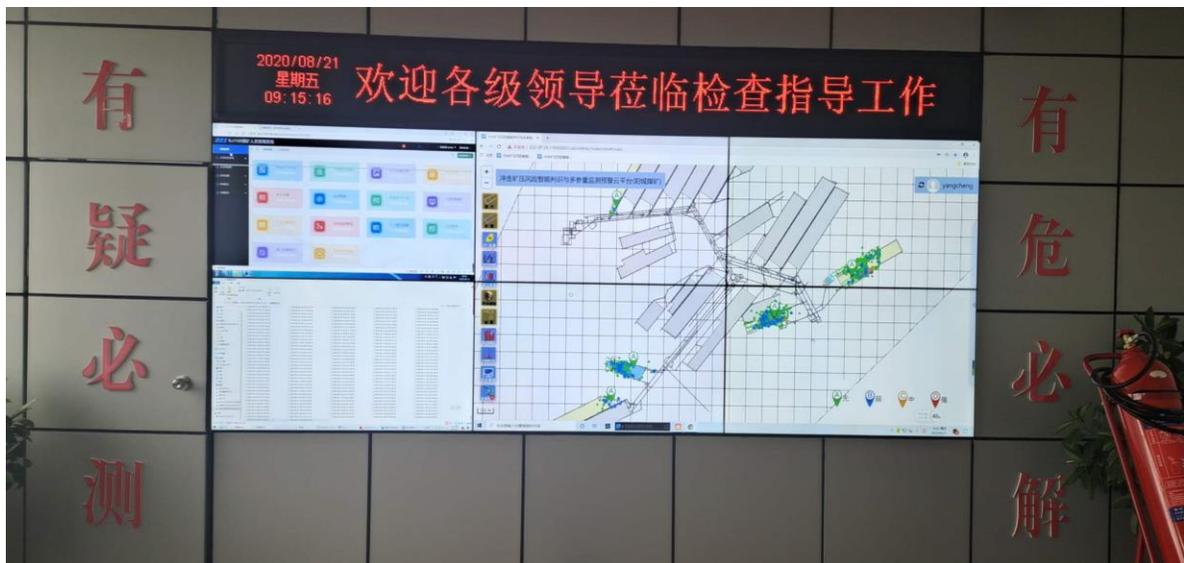
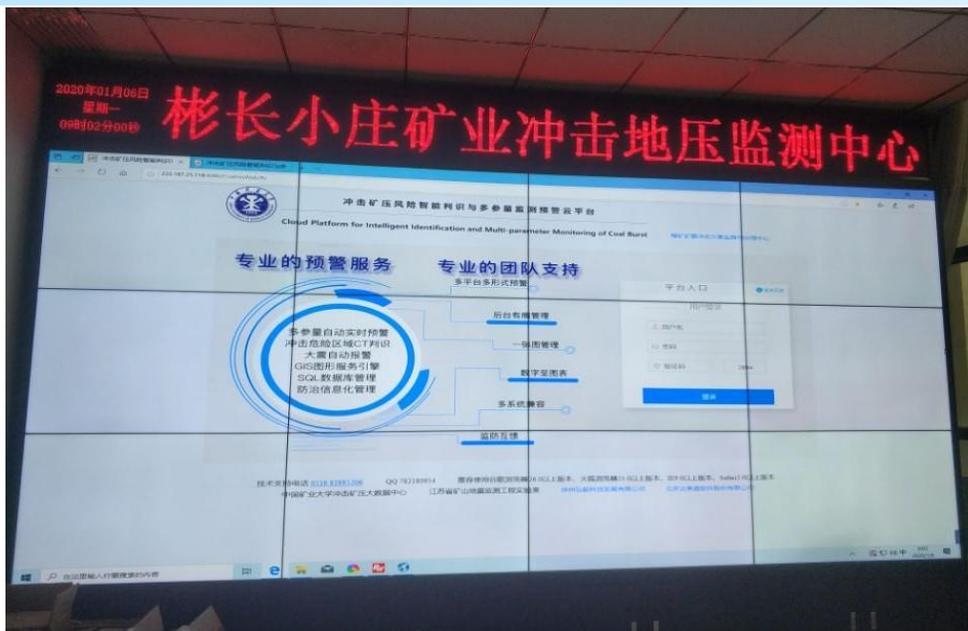
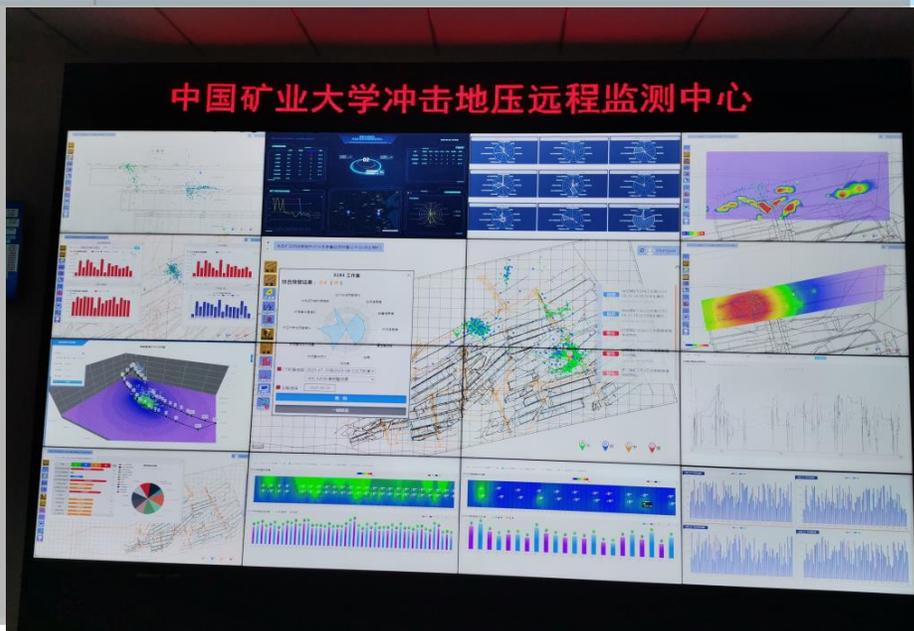
OS 微震监测系统 & KJ470 矿山地震波监测系统

● ARAMIS 系统





State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining



# 监测预警云平台的构架



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



- 国内外 80 多个冲击矿压煤矿进行多参量、多形式实时监测预警，确定危险区域和危险等级、检验防冲措施效果，达到监防一体化、后台有痕管理等六大目的。

**多参量多形式预警**  
(短信\网页\卡片\一张图)

**数字至图表**  
(可视化呈现, 插值、云图等)

**后台有痕管理**  
(防治工作信息化、多参量选择、参数选取、预警指标)

**多系统兼容**  
(异构数据解析与存储)

**一张图管理**  
(监测、预警和防治)

**监防一体化**  
(监防互馈)



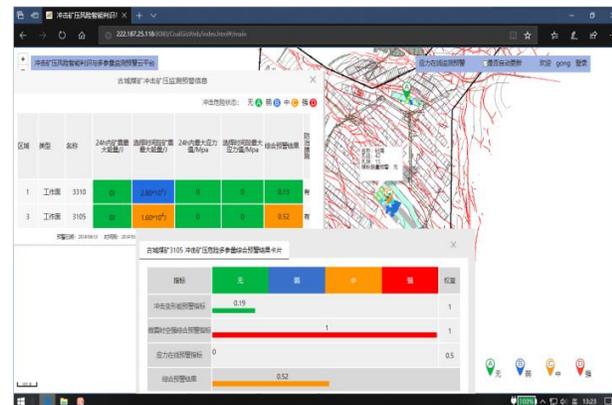
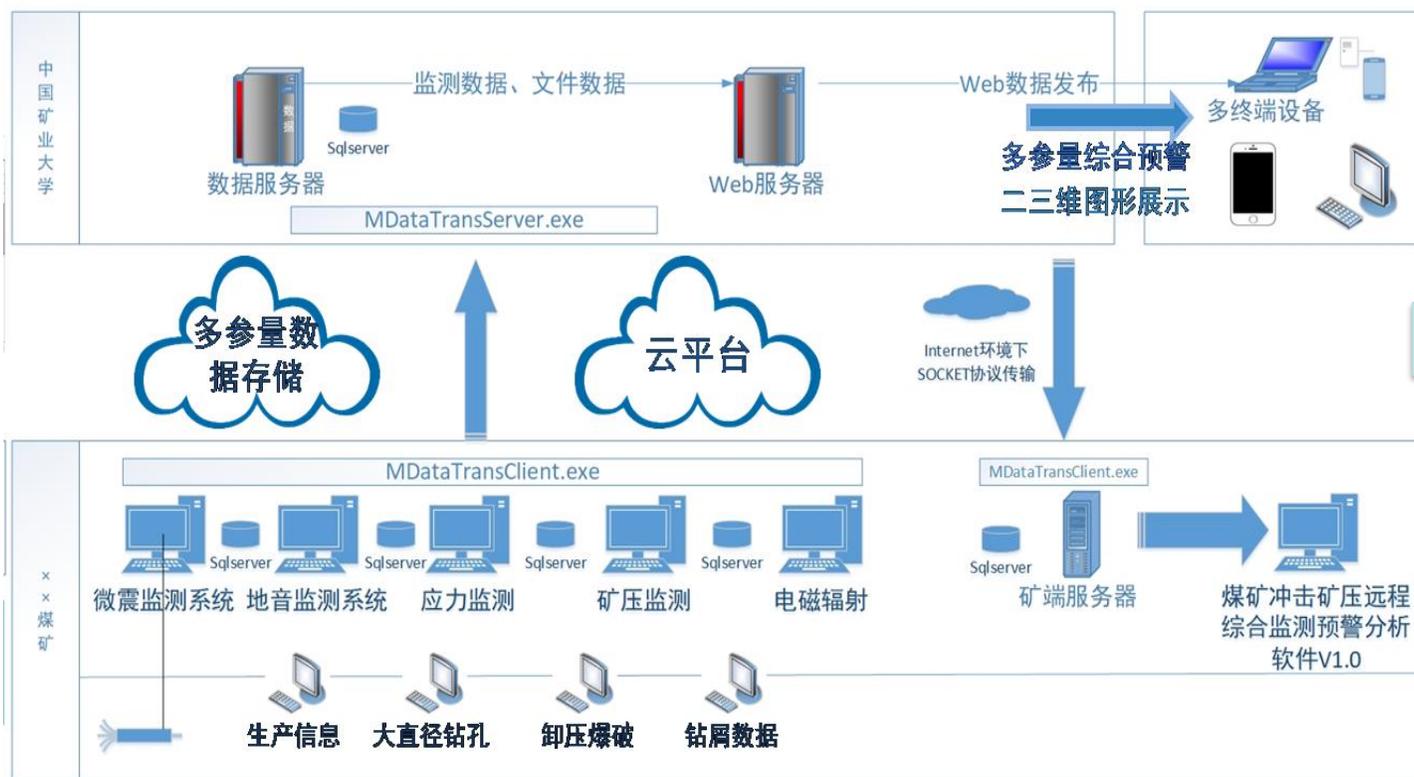
# 监测预警云平台的架构



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



- 平台集合GIS、大数据、云平台、采矿地球物理等技术，构建了一个集现实地理、井巷矿图、地质资料、生产信息等于一体的时空架构。
- 平台集成了微震、应力、地音、钻屑、大直径卸压等多种监测系统和数据信息，对信息和数据统一管理。



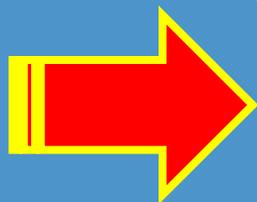
- 平台支持智能手机、平板、笔记本、台式机等多形式终端访问。实现异地访问、数据信息查询、预警提示，大幅提高监管效率。
- 提供多形式预警：手机讯息、WEB浏览器网页、预警卡片、自动语音报警、大震动闪烁、“一张图”显示、无弱中强（ABCD）分级预警等。





CISM

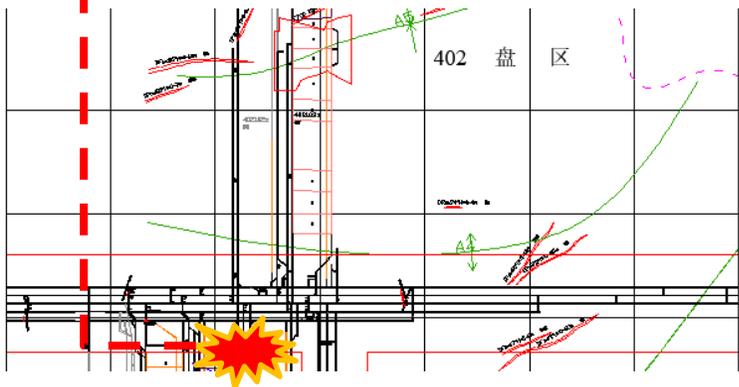
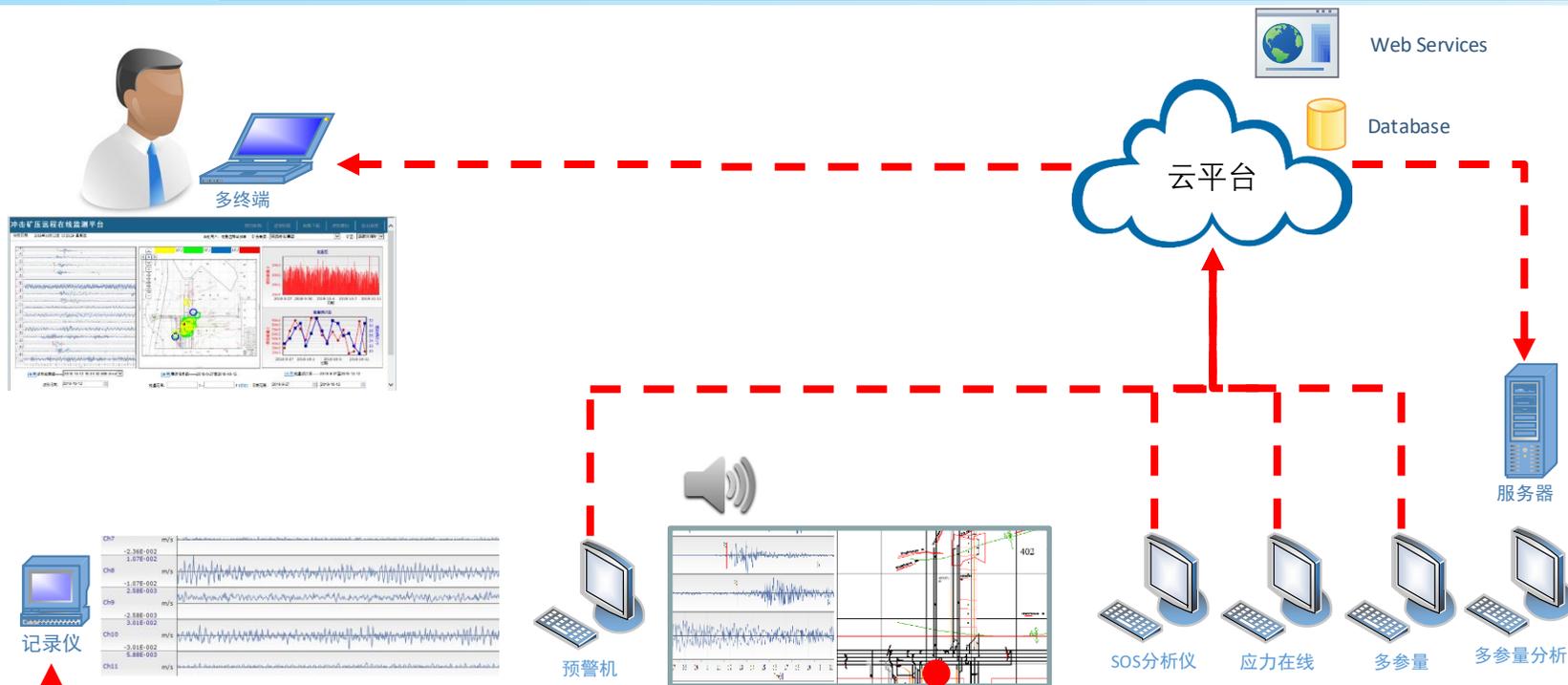
State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



# 云平台功能展示

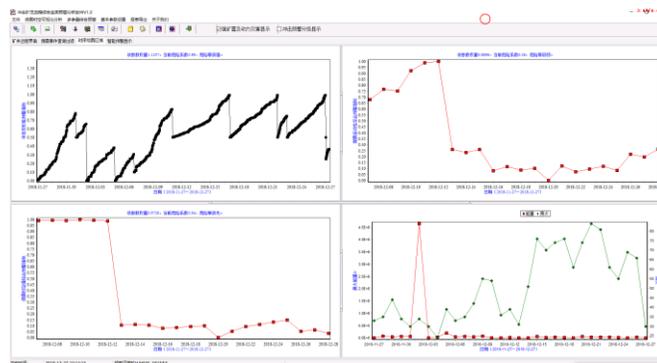
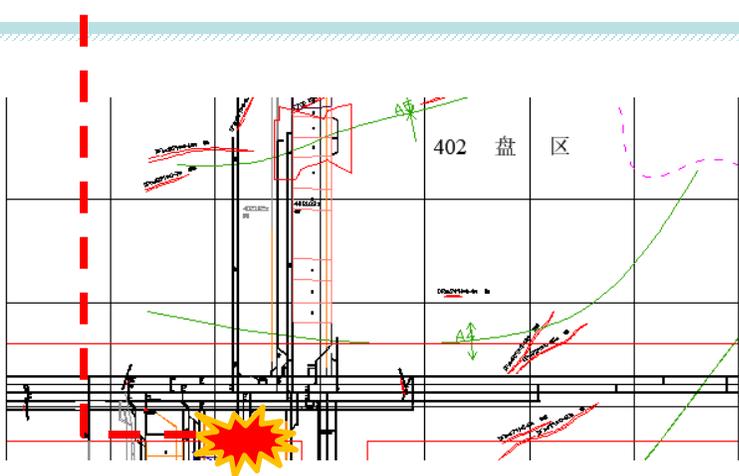
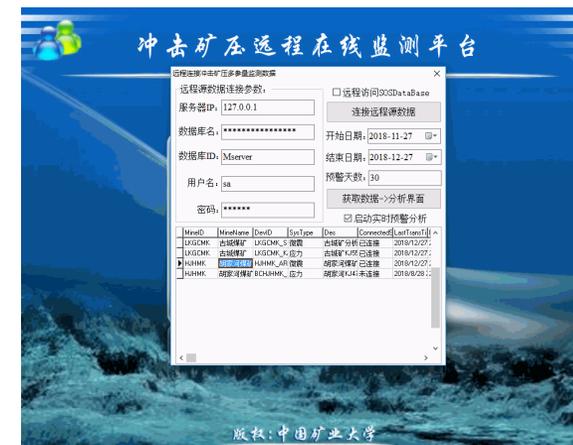
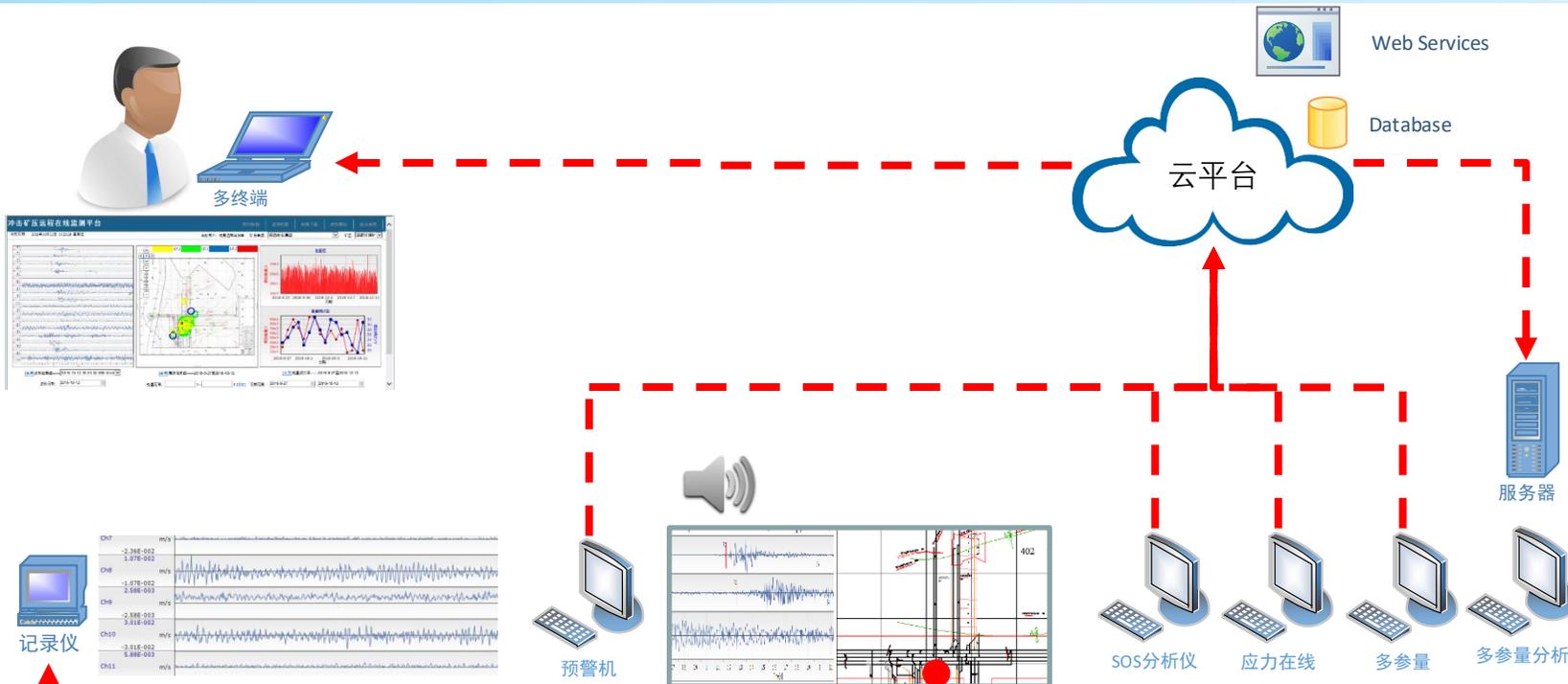
# 中国矿业大学冲击地压远程风险智能判识与监测预警

Laboratory  
Resources and Safe M



# 中国矿业大学冲击地压远程风险智能判识与监测预警

Laboratory  
Resources and Safe M



# 冲击地压风险智能判识与监测预警平台



CISM

State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe Mining



## 冲击矿压风险智能判识与多参量监测预警云平台

Cloud Platform for Intelligent Identification and Multi-parameter Monitoring of Coal Burst

设为首页 | 煤矿矿震冲击灾害监测与治理中心

### 专业的预警服务

### 专业的团队支持



### 平台入口

用户登录

hanzp

.....

65| 6591

登录

ev剪辑



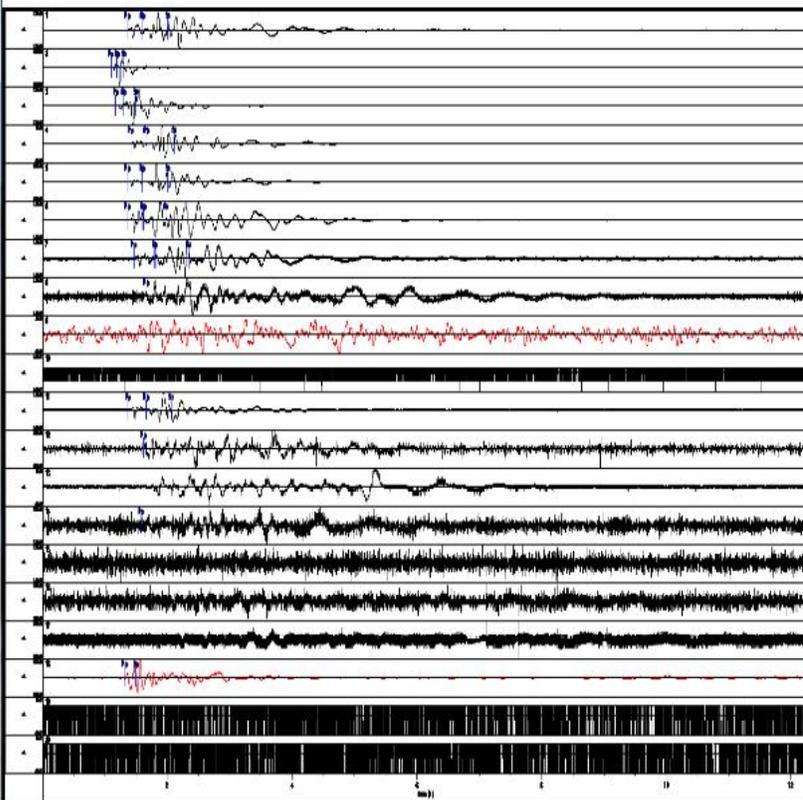
# 冲击矿压远程在线监测平台

实时数据 | 监测预警 | 数据下载 | 修改密码 | 退出系统

当前日期: 2019年11月8日 14:18:40 星期五

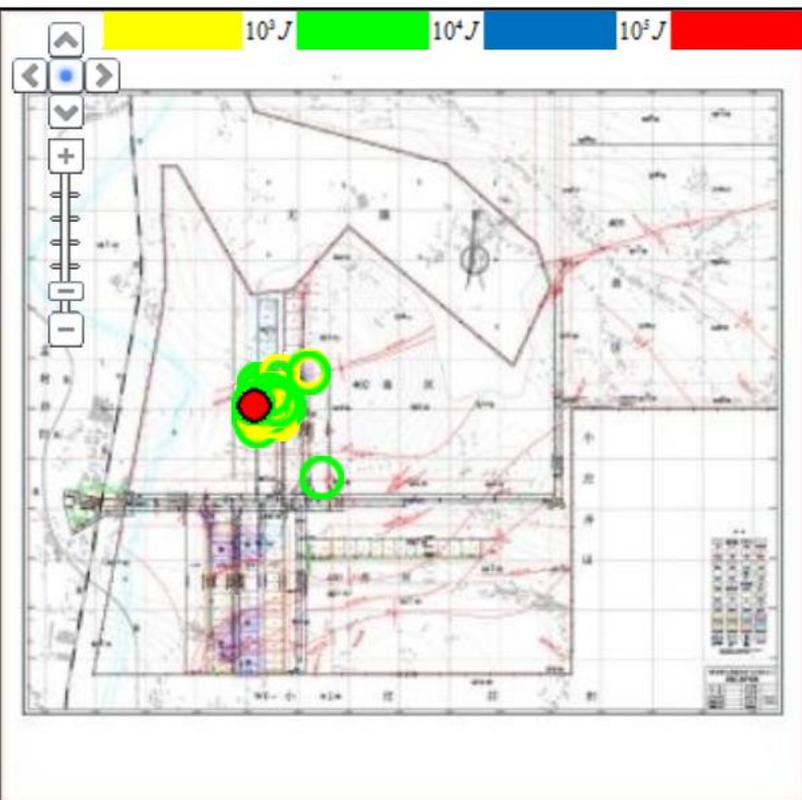
## 矿震波形-震源-时序分布

集团: 陕西彬长集团 | 矿区: 胡家河煤矿



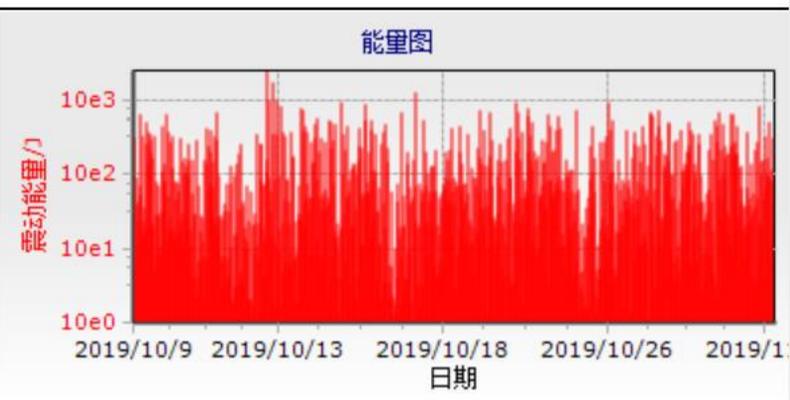
[全屏]波形数据图

波形日期: 2019/11/8



[全屏]震源信息图——2019/10/24至2019/11/8

能量范围: [ ] J — [ ] J [设定] 日期范围: 2019/10/24 - 2019/11/8



[全屏]能量频次图——2019/10/9至2019/11/8



# 平台功能：多系统综合集成展示



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe



➤ 平台具有良好的兼容性，兼容微震、应力在线、钻屑等多种监测方法和系统；平台具有良好的扩展性，满足未来新增监测系统扩展、接入。



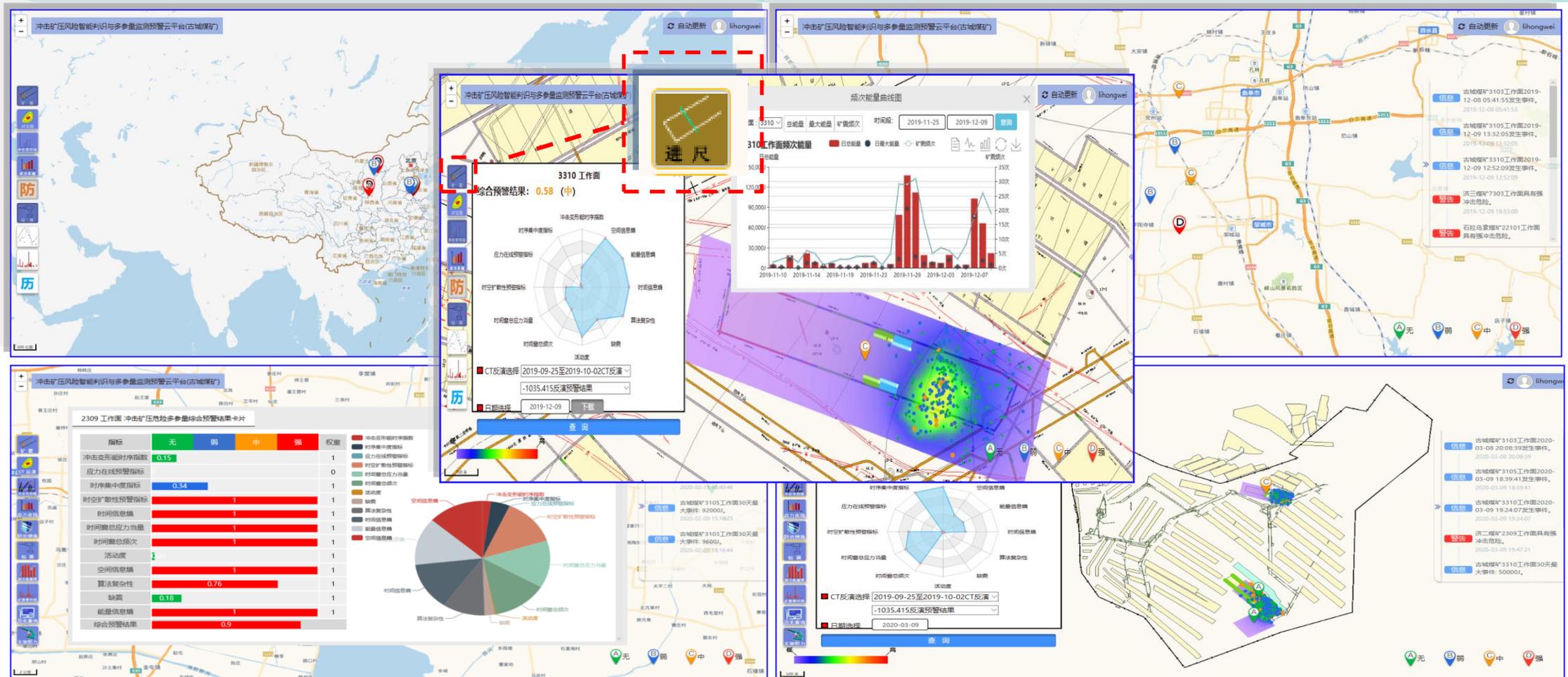
# 平台功能：一张图预警信息集中展示



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safety



- 将相关数据信息和结果直接显示在矿图上，实现冲击危险区域的可视化。
- 以云图形式圈定危险区域，在一张图中展现监测、预警、防治各类信息，有助于技术人员快速分析和判断。



# 平台功能：监测、防治互馈



- 根据时、监测预警结果，可有效指导现场制定防冲解危措施。
- 现场一方面通过钻屑、大直径卸压钻孔钻进中的动力现象等验证监测预警结果；另一方面可通过综合预警平台对防治措施的效果进行检验，实现监防互馈，极大提高现场防治效率，准确解危冲击危险区域。

预警指导防治，反过来防治也指导预警

从两化融合角度开展监测与防治的互馈工作

信息化

自动化

防治与监测信息化

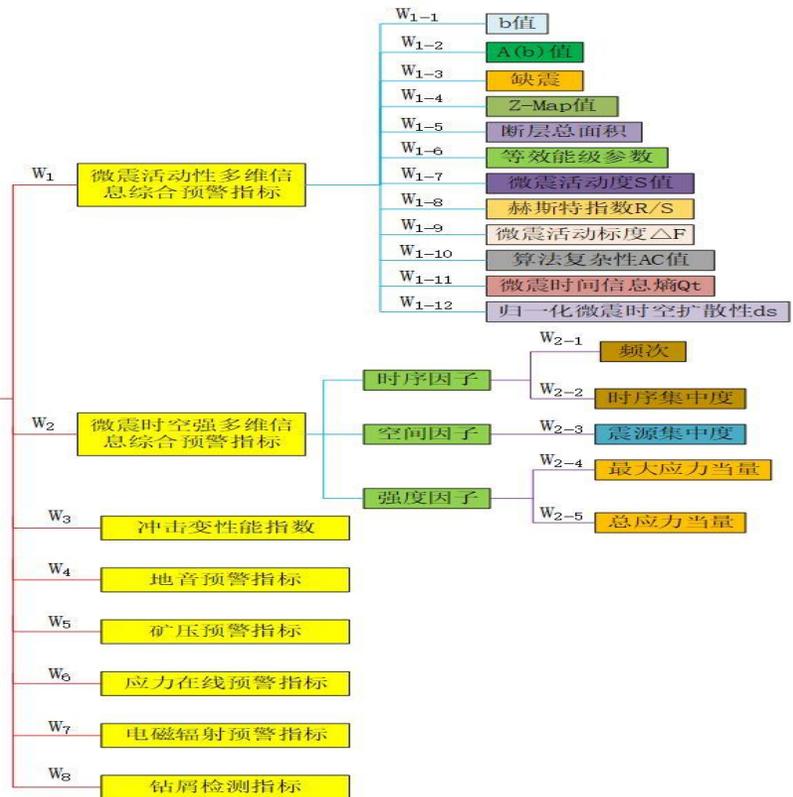
卸压爆破

大直径钻孔

钻屑

时间趋势上的多参量预警

冲击地压参量权重分配层次结构图



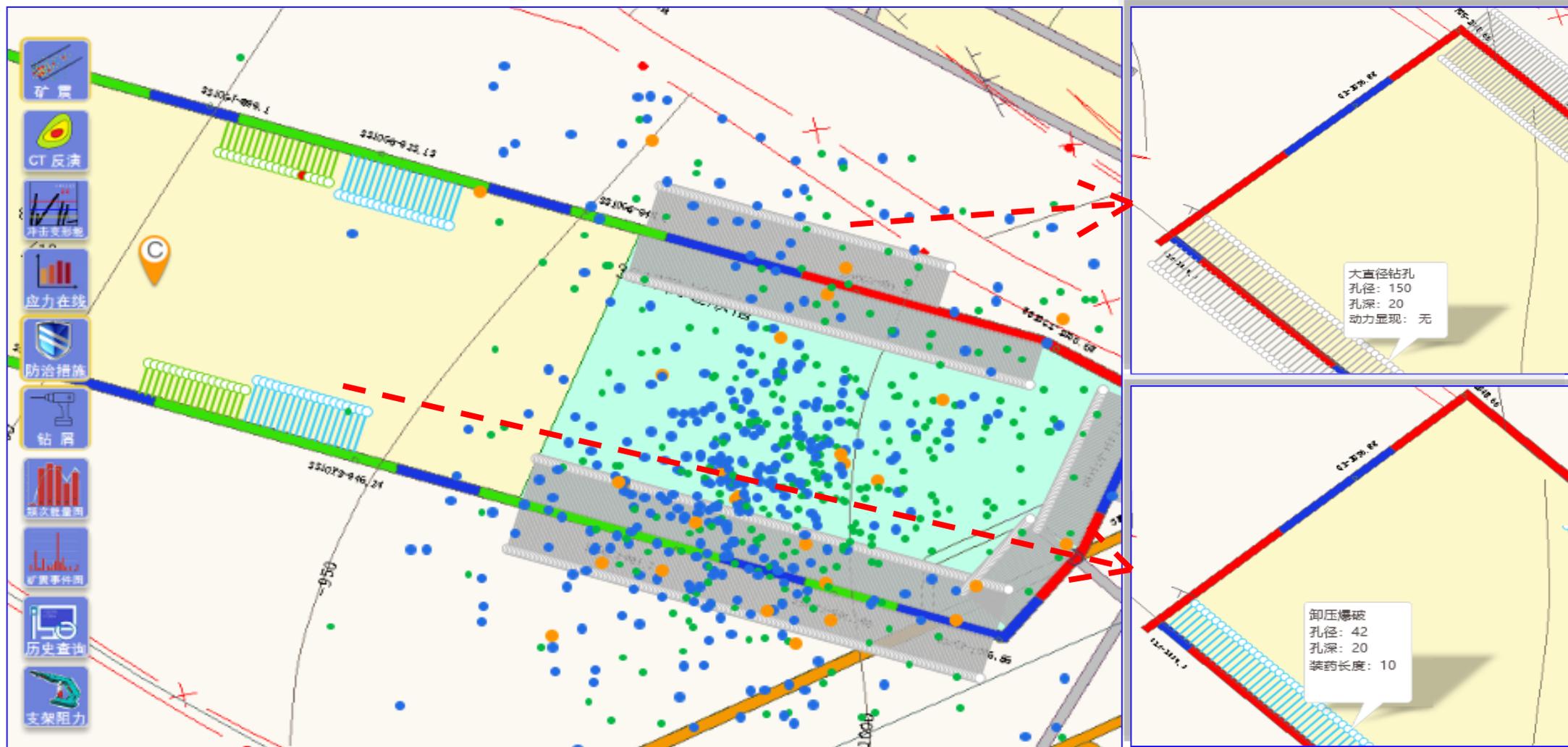
# 平台功能：防治措施综合集成



State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe Mining



- 大直径卸压钻孔、卸压爆破、煤层注水、水力致裂等防治措施信息集成展示。
- 防治措施进度、数据查询。





CISM

State Key Laboratory  
of Coal Resources and Safe M



敬请指正!

谢谢!

Thanks!

