



震动波CT反演技术在冲击地压空间预警中的应用研究

报告人： 巩思园 副教授/副主任

单 位： 中国矿业大学

Tel : 15805202578

2020年 12 月5日

汇报提纲

一、研究背景

二、主动CT反演预警冲击地压危险

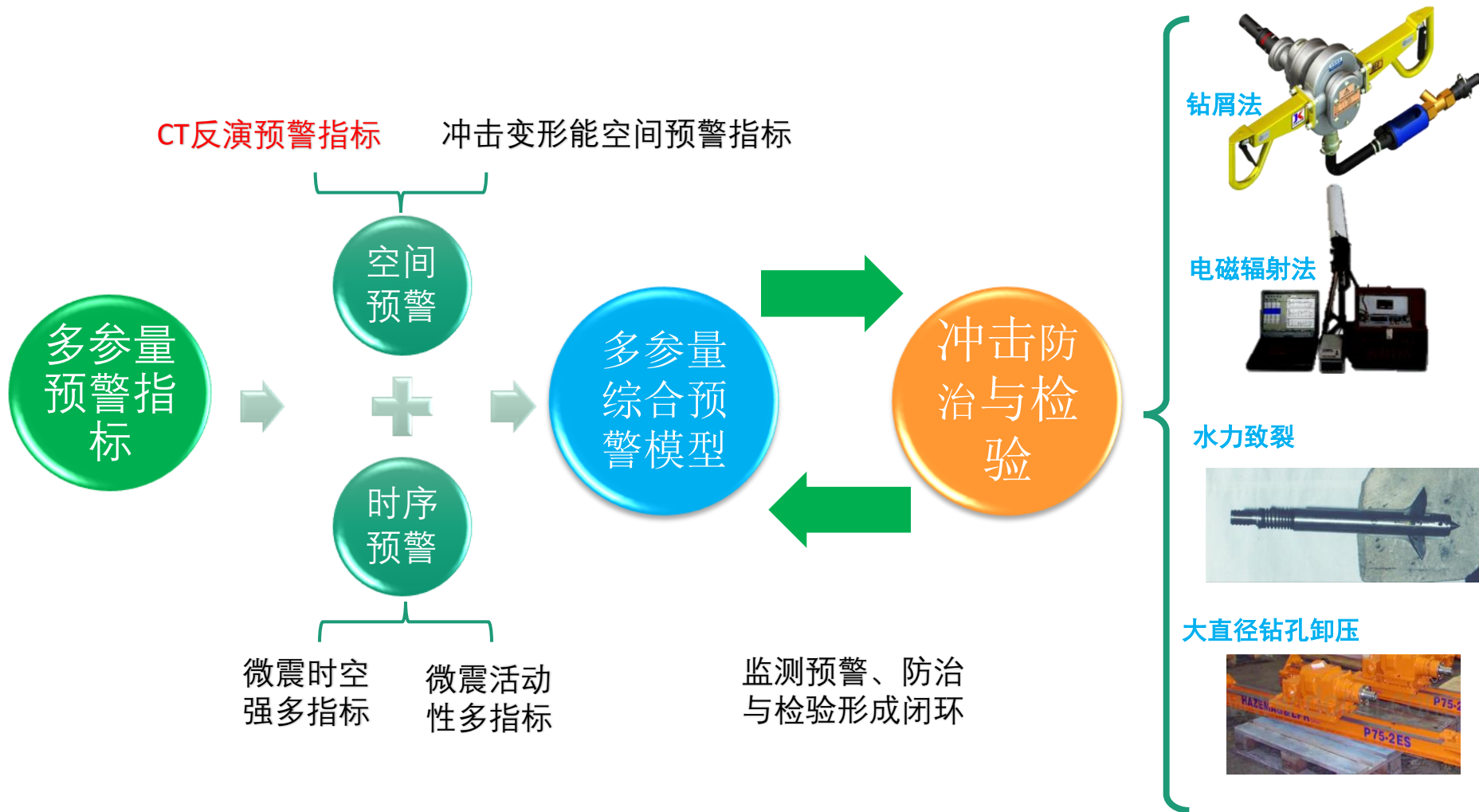
三、被动CT反演预警冲击地压危险

四、双震源融合CT反演预警冲击地压危险

五、结论

一、研究背景

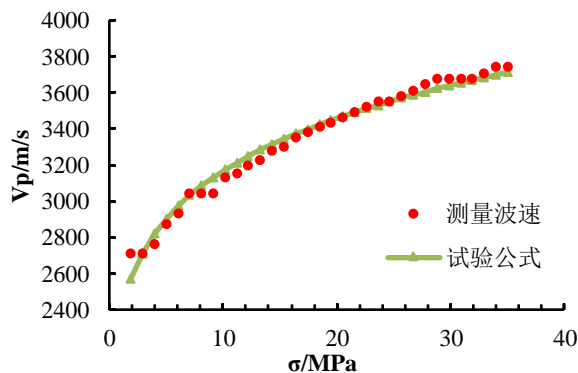
冲击地压预警思路



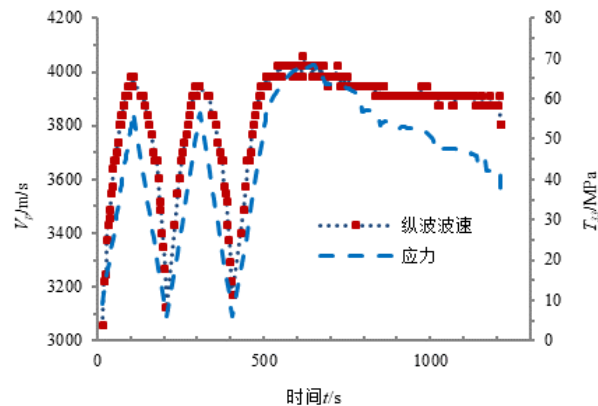
一、研究背景

冲击危险分类监测指标及前兆信息

➤ 应力场探测——震动波CT空间应力探测 $V_p = \varphi (\sigma)^\psi$



$$A_n = \frac{V_p^2 - V_p^1}{V_p^1}$$



$$\phi = \frac{\left(\frac{v_p}{\varphi}\right)^{1/\psi}}{\sigma_p^a}$$

$$A_n = \frac{VG - VG^a}{VG^a}$$

震动波波速与应力关系曲线

预警指标构建

汇报提纲

一、研究背景

二、主动CT反演预警冲击地压危险

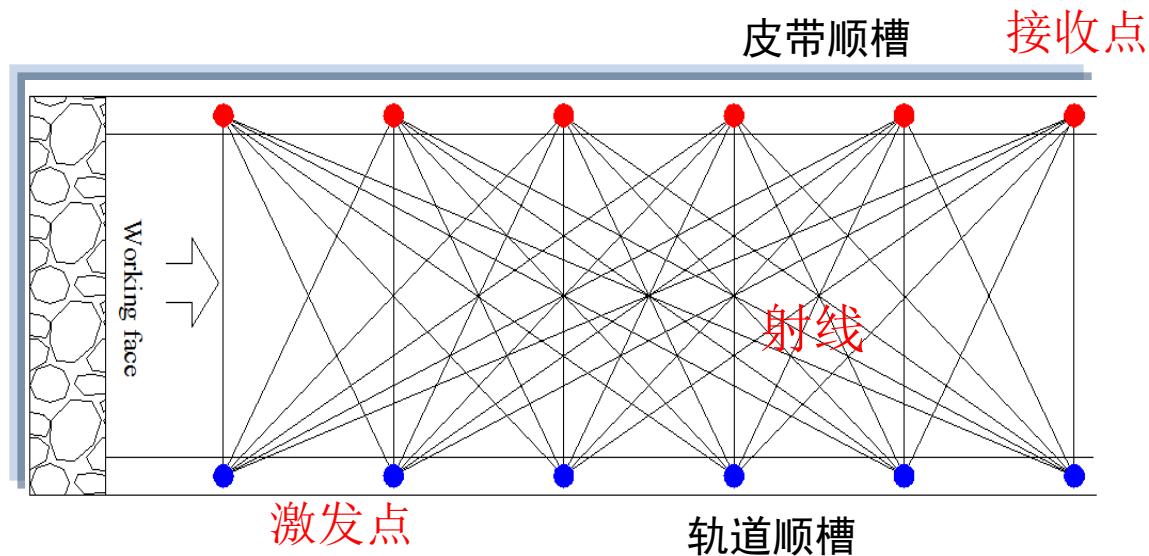
三、被动CT反演预警冲击地压危险

四、双震源融合CT反演预警冲击地压危险

五、结论

二、主动CT反演预警冲击地压危险

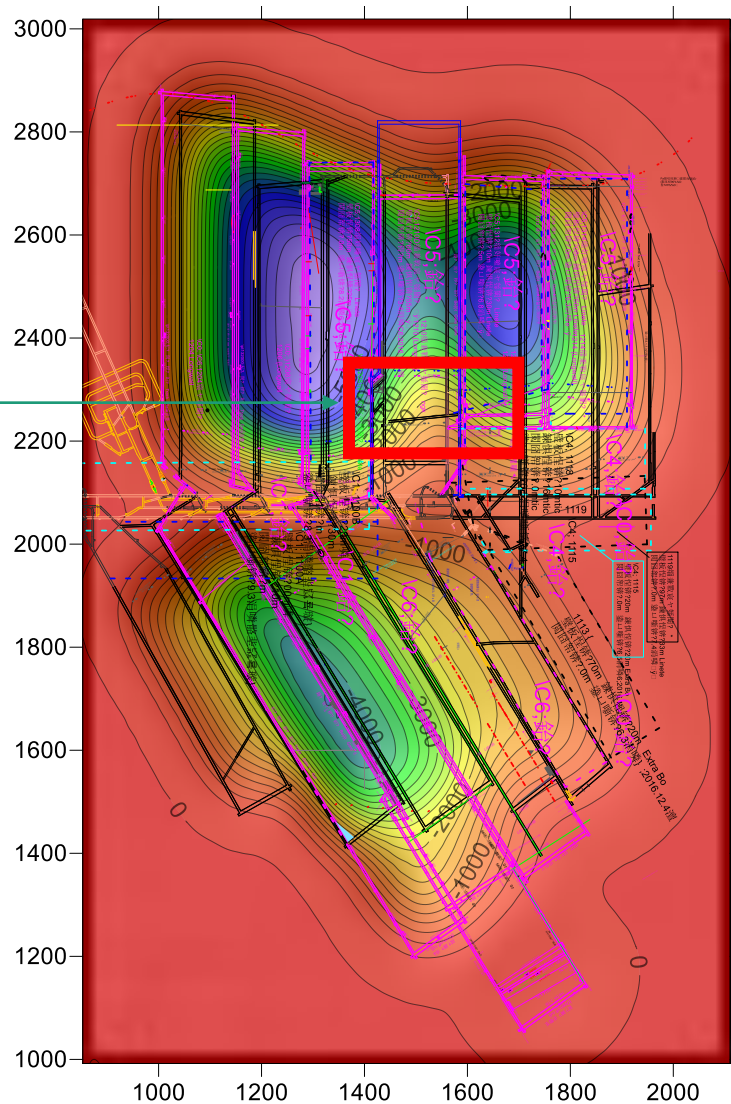
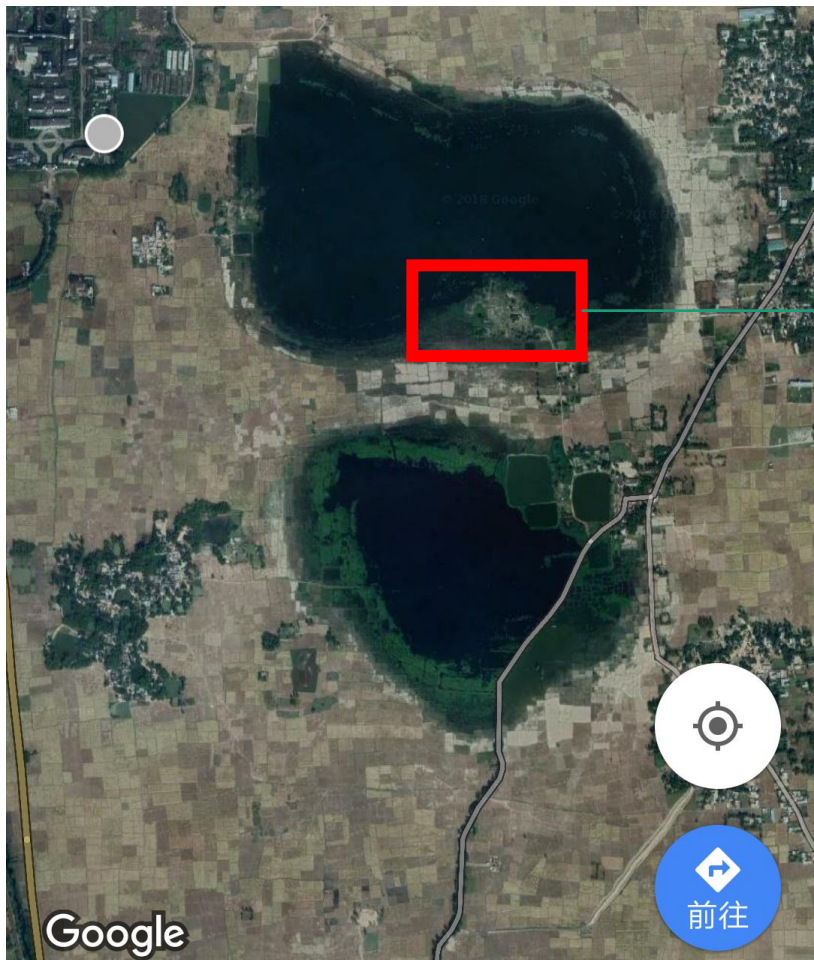
□ 主动CT评价冲击危险原理



- 一侧布设检波器接收震动波形信号；
- 一侧在煤壁中打钻孔放震动炮；
- 形成类似医学CT的覆盖整个工作面的射线群；
- 特点：震源发震时刻和放炮位置已知；

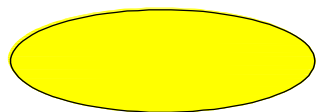
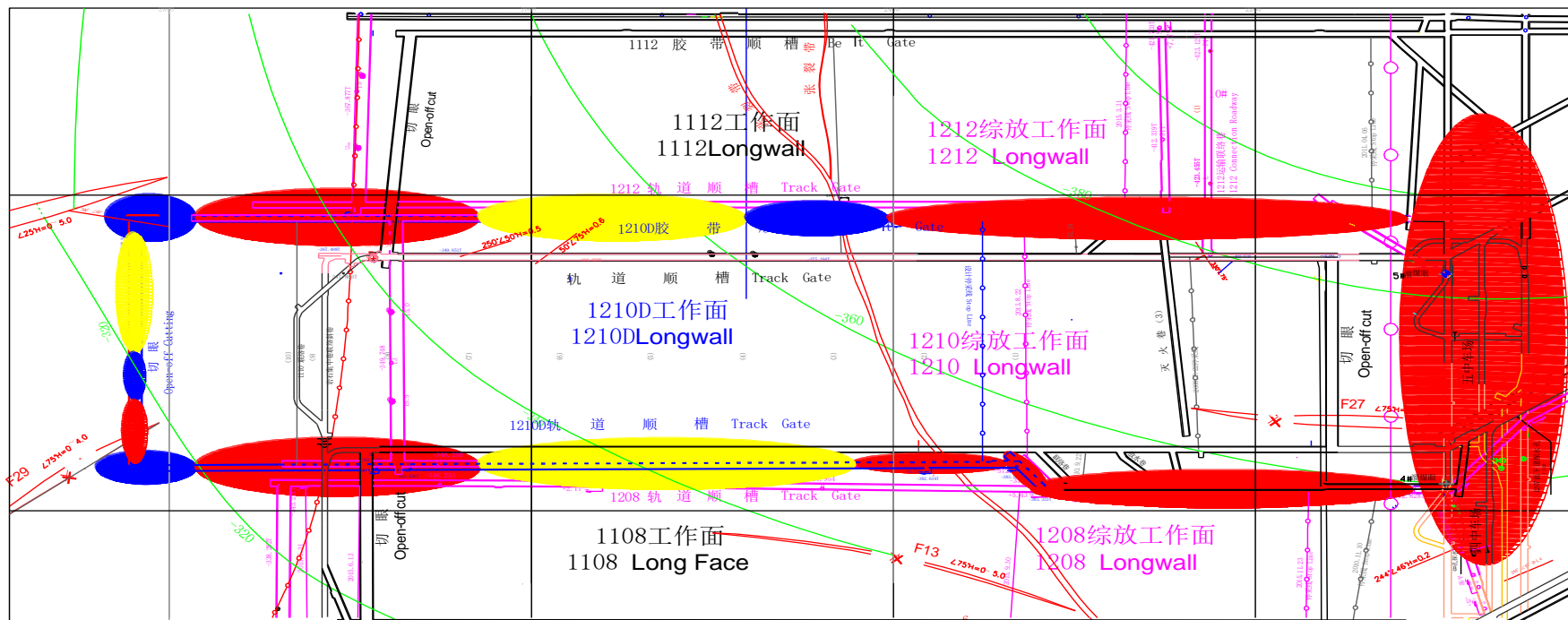
二、主动CT反演预警冲击地压危险

□ 孟加拉巴拉普库利亚孤岛工作面冲击地压预警应用

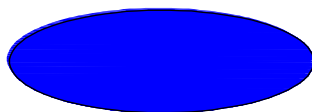


二、主动CT反演预警冲击地压危险

孟加拉巴拉普库利亚孤岛工作面冲击地压预警应用



一般危险区



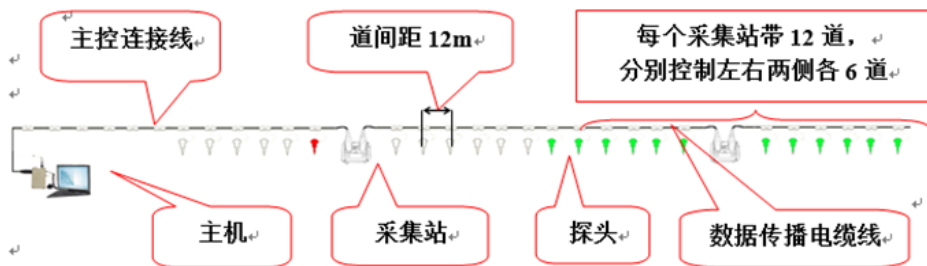
中等危险区



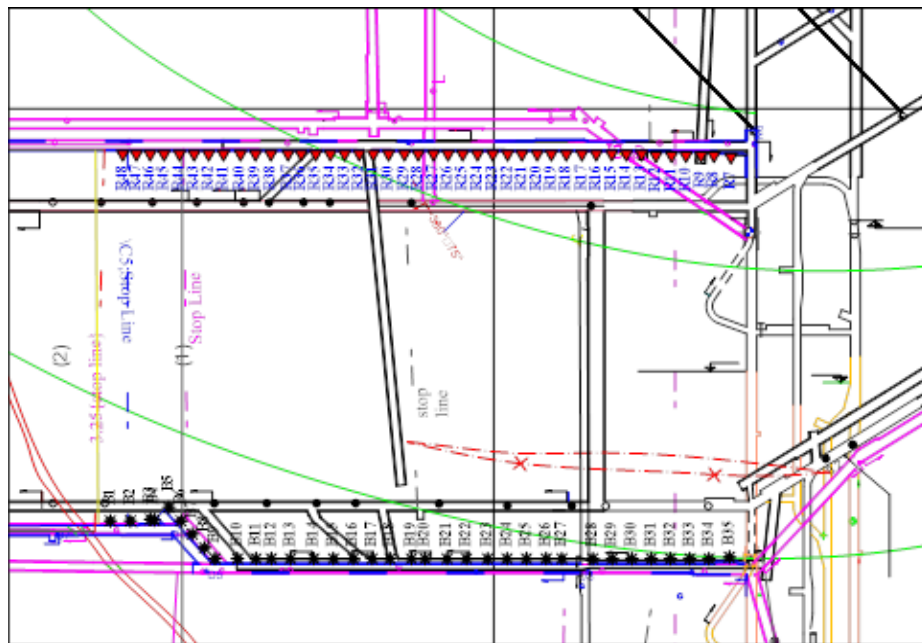
严重危险区

二、主动CT反演预警冲击地压危险

□ 探测方案



设备连接图

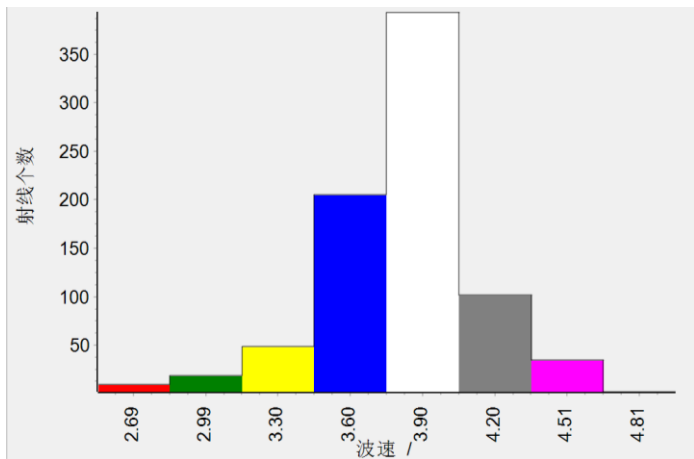


- 接收点设置在1210D胶带顺槽，放炮点设置在轨道顺槽。
- 探头间距6m，炮点间距8m，每孔装药量200g，确定探头个数42个 (R7-R48)，放炮点35个 (B1-B35)。

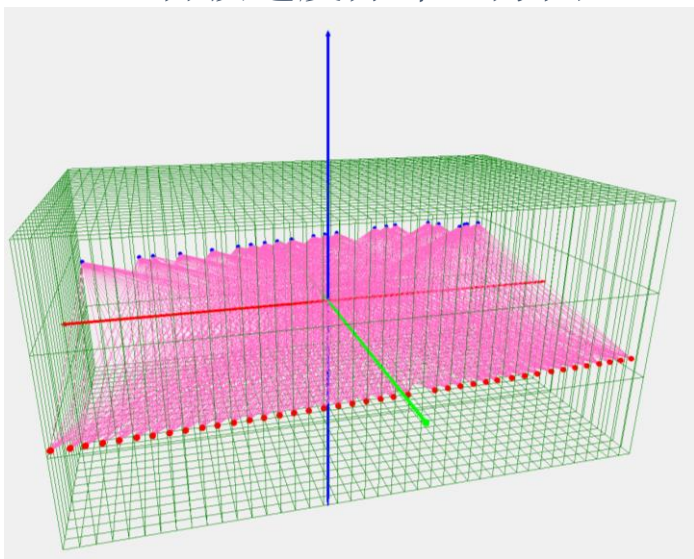


二、主动CT反演预警冲击地压危险

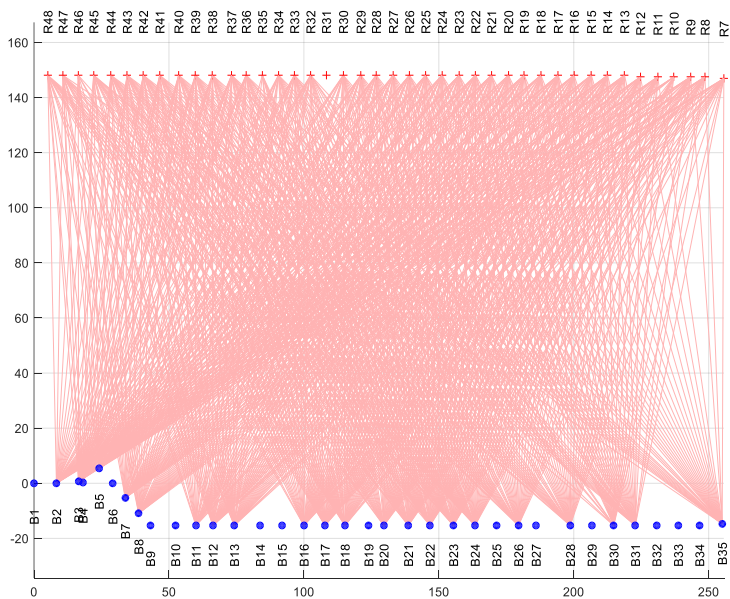
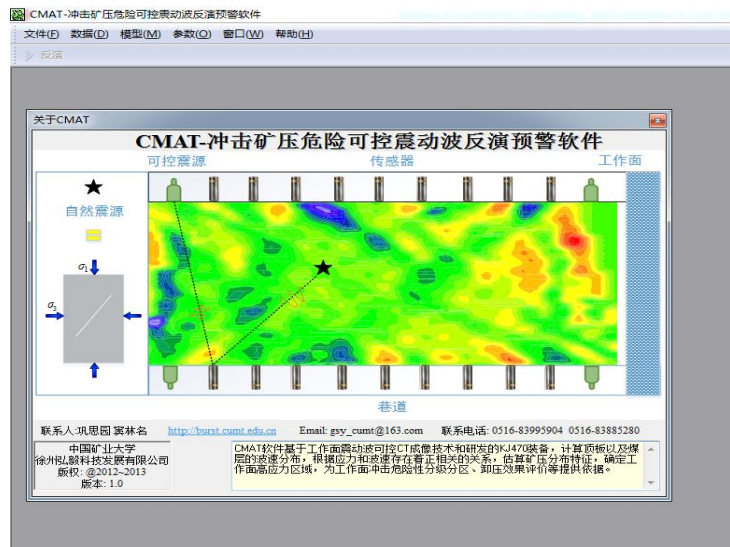
□ 反演模型建立



首波速度分布直方图



煤柱区的弹性波CT反演模型

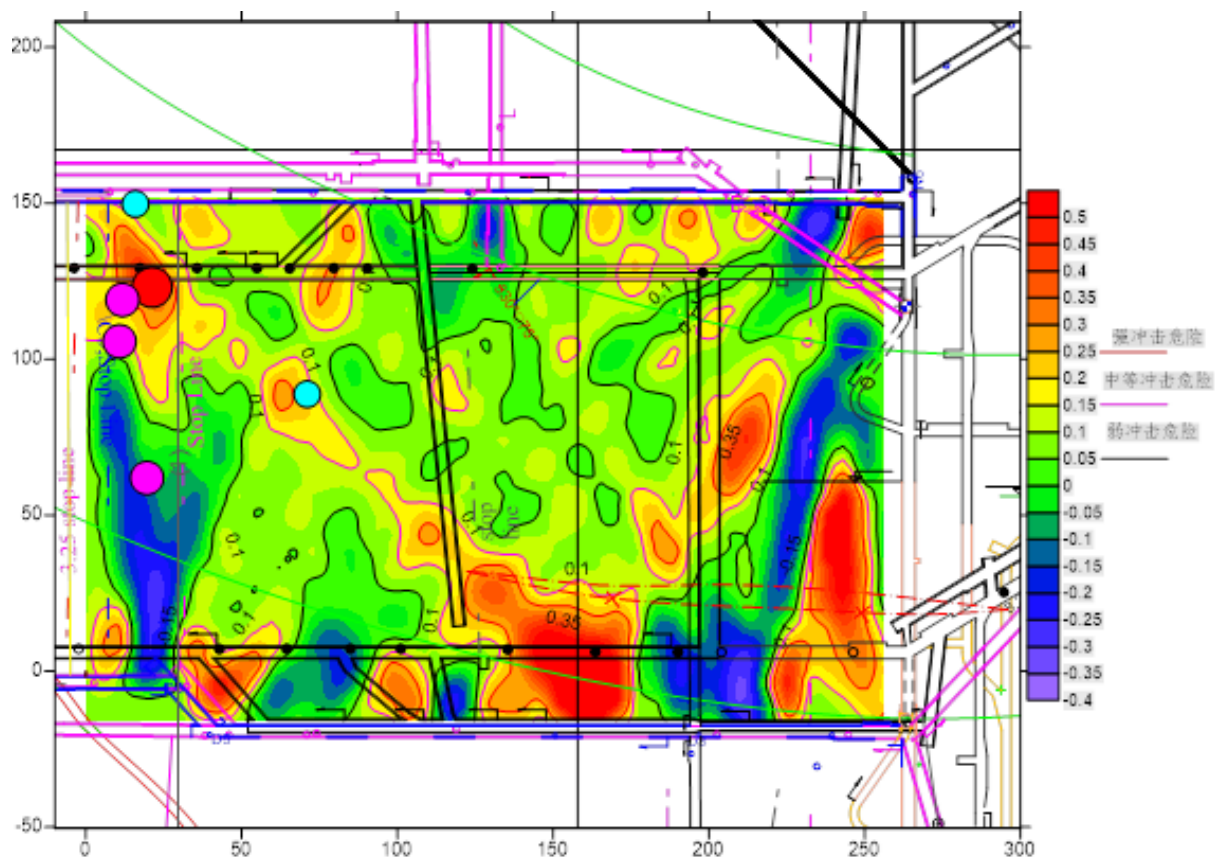


放炮点与探头间形成的射线覆盖图

二、主动CT反演预警冲击地压危险

□ 煤柱区冲击危险分析

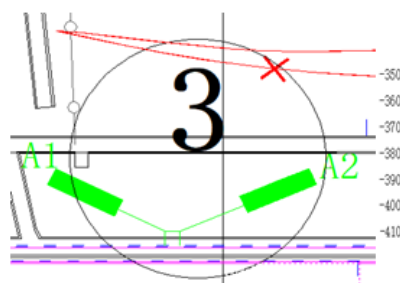
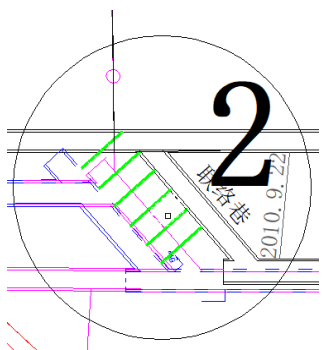
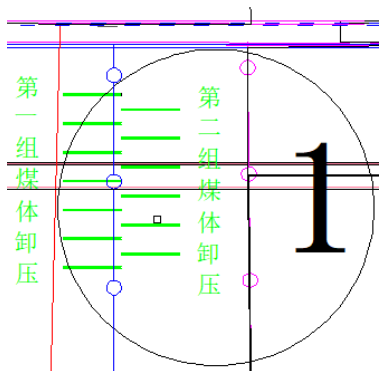
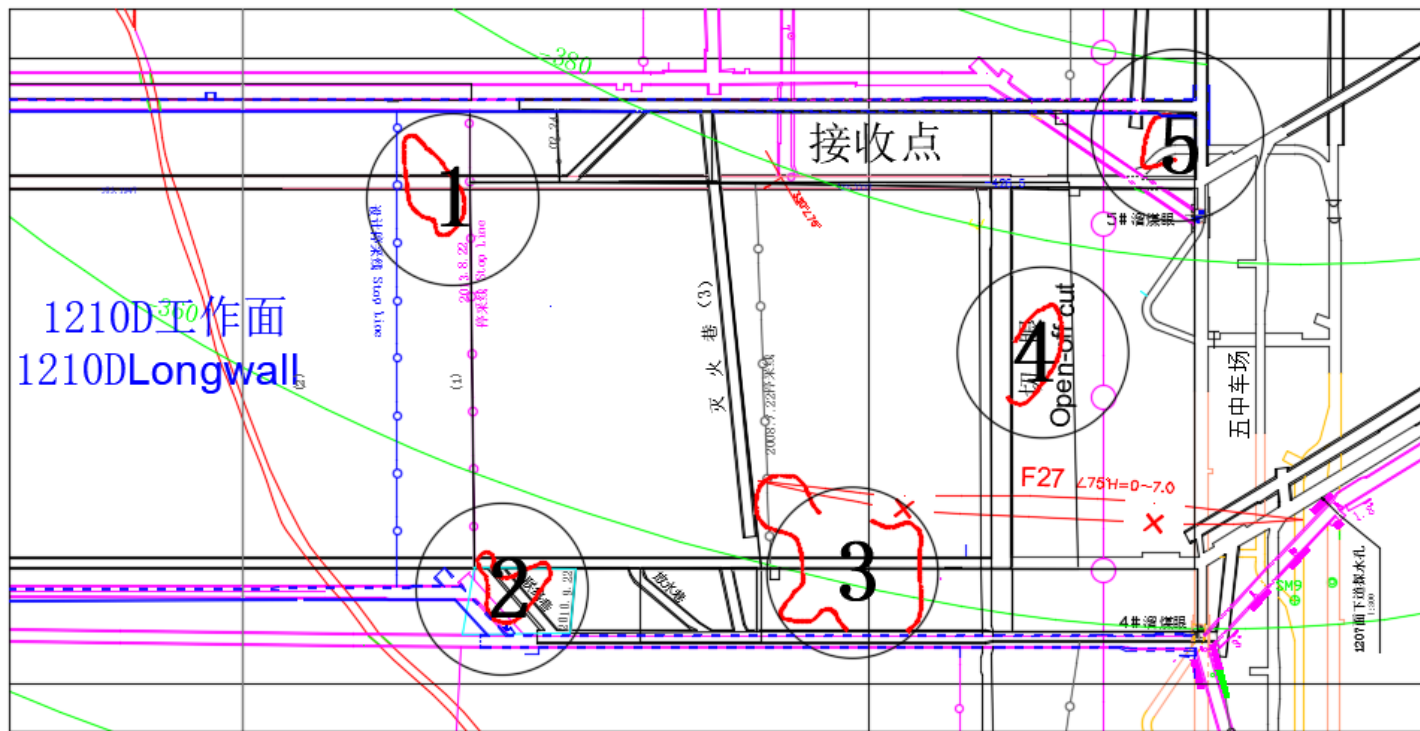
- 为进一步验证弹性波CT反演结果预警1210D煤柱区冲击矿压危险的准确性，对3月14日以来的强矿震事件进行了标记



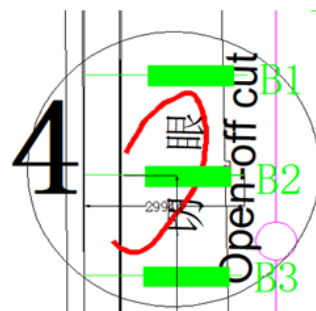
前期大震动与分析结果的对比验证

二、主动CT反演预警冲击地压危险

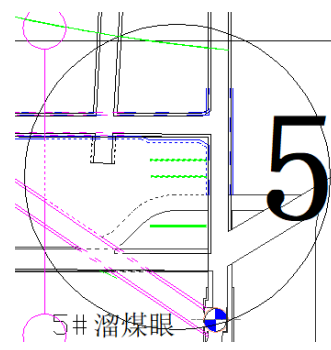
煤柱区卸压方案



区域3爆破孔平面位置

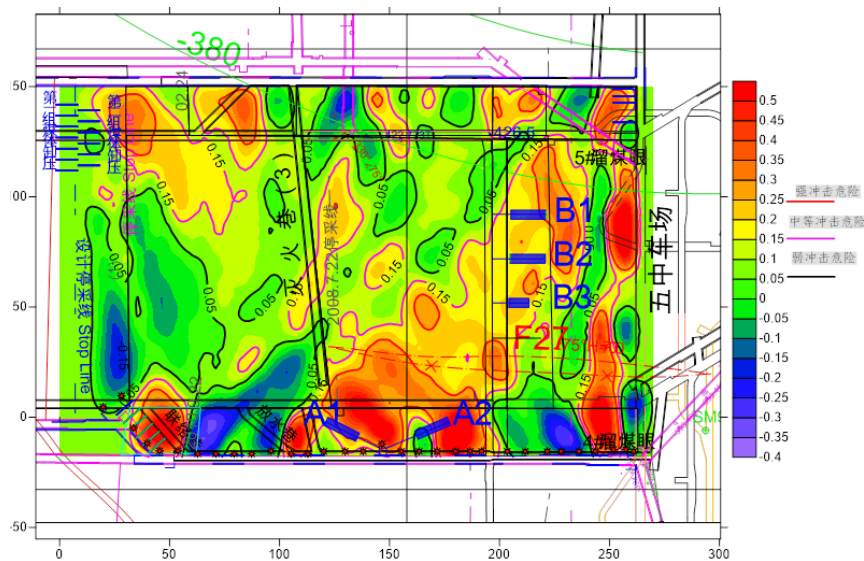
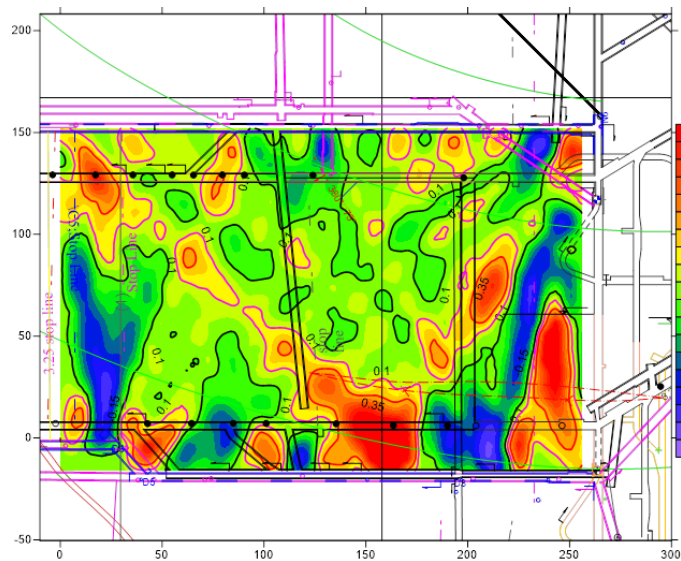
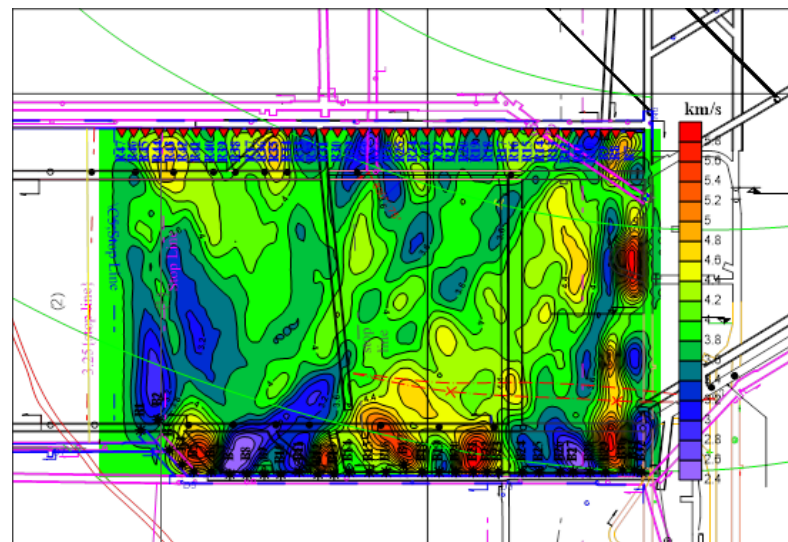
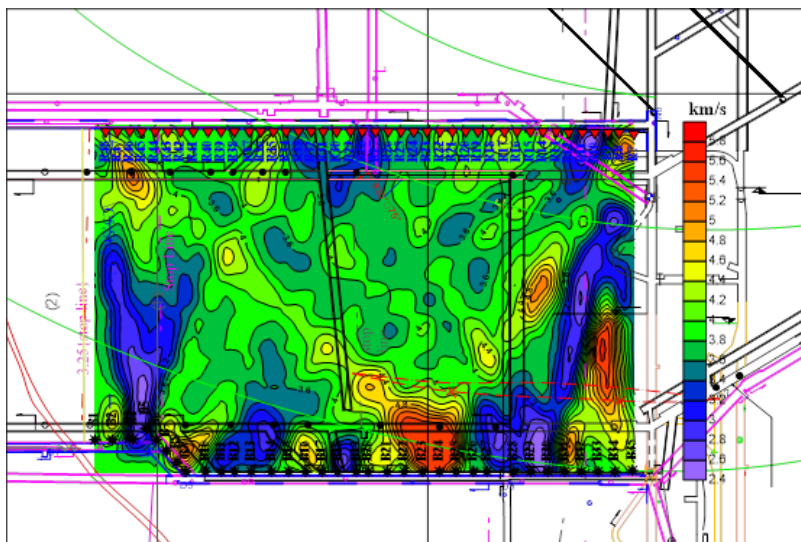


区域4爆破孔布置



二、主动CT反演预警冲击地压危险

卸压措施效果检验



汇报提纲

一、研究背景

二、主动CT反演预警冲击地压危险

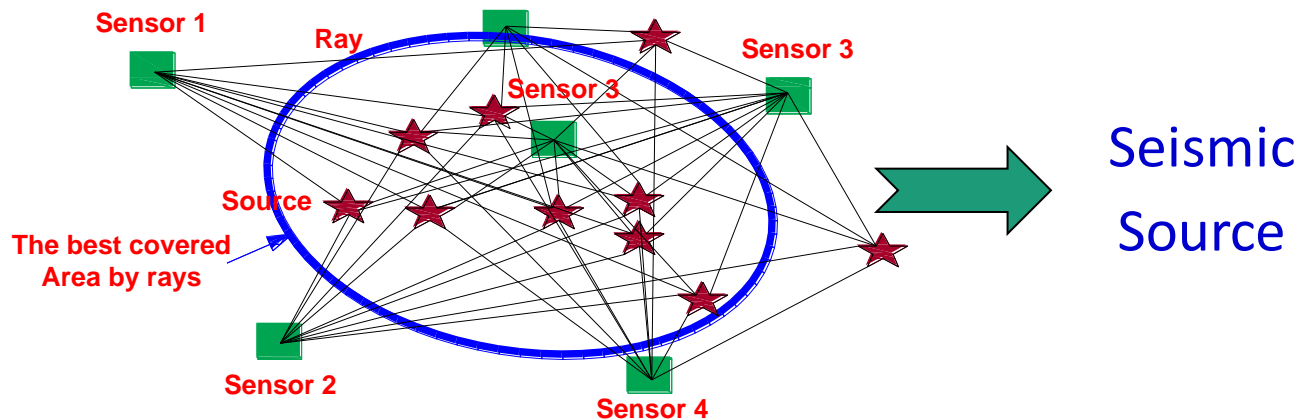
三、被动CT反演预警冲击地压危险

四、双震源融合CT反演预警冲击地压危险

五、结论

三、被动CT反演预警冲击地压危险

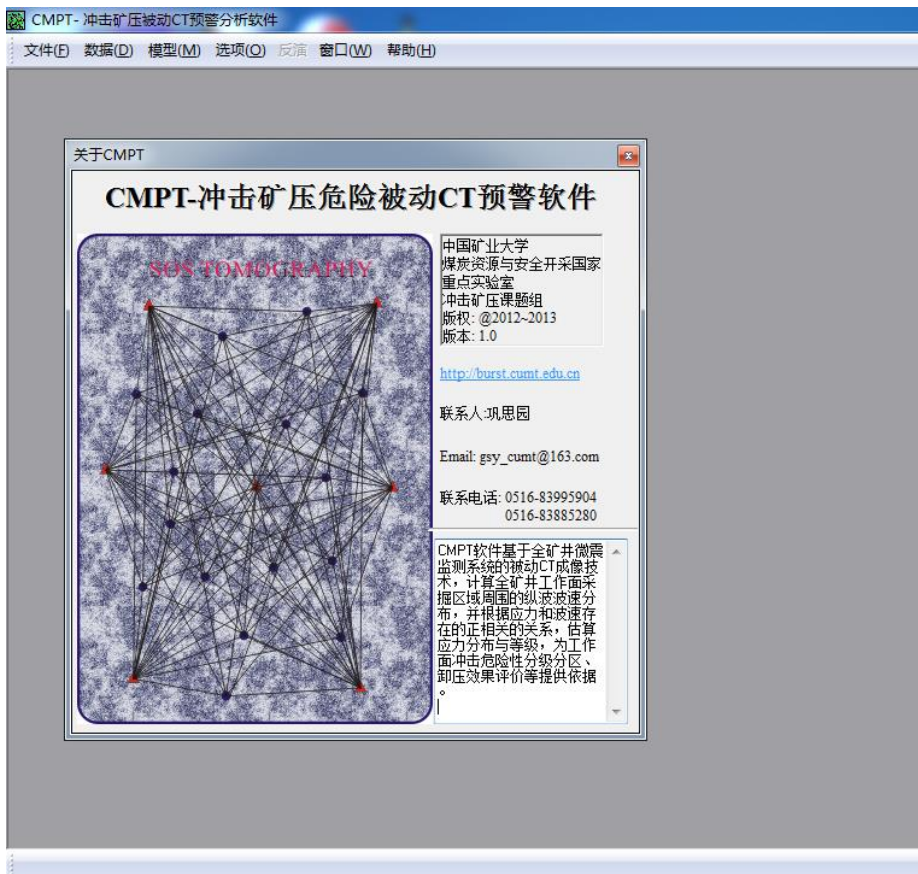
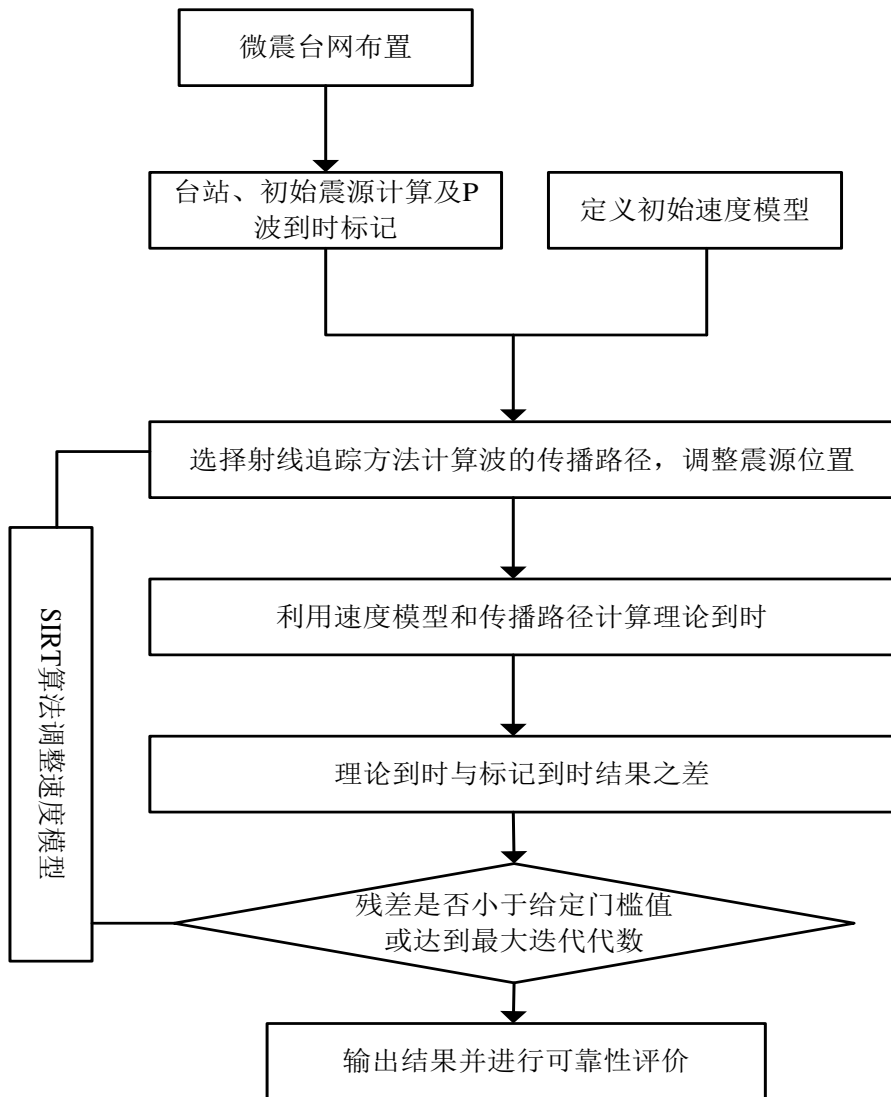
□ 被动CT反演原理



- 利用矿震源进行反演，因此相比主动CT能够覆盖更大的监测范围；
- 需要等待足够长的时间才能够进行反演，相比主动CT计算周期更长；
- 特点：震源发震时刻和放炮位置未知；

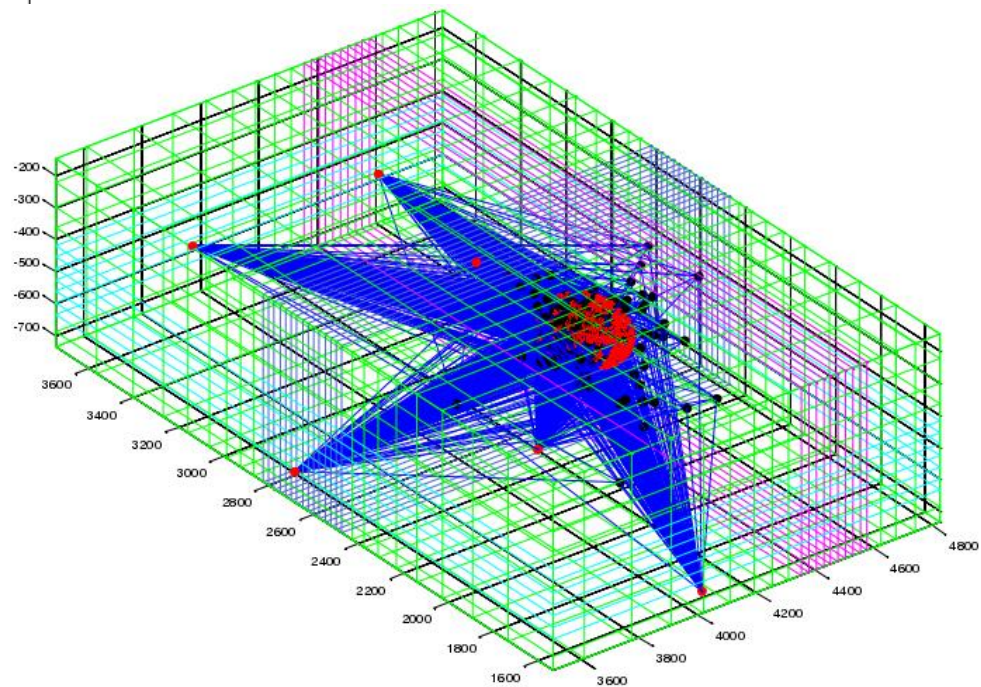
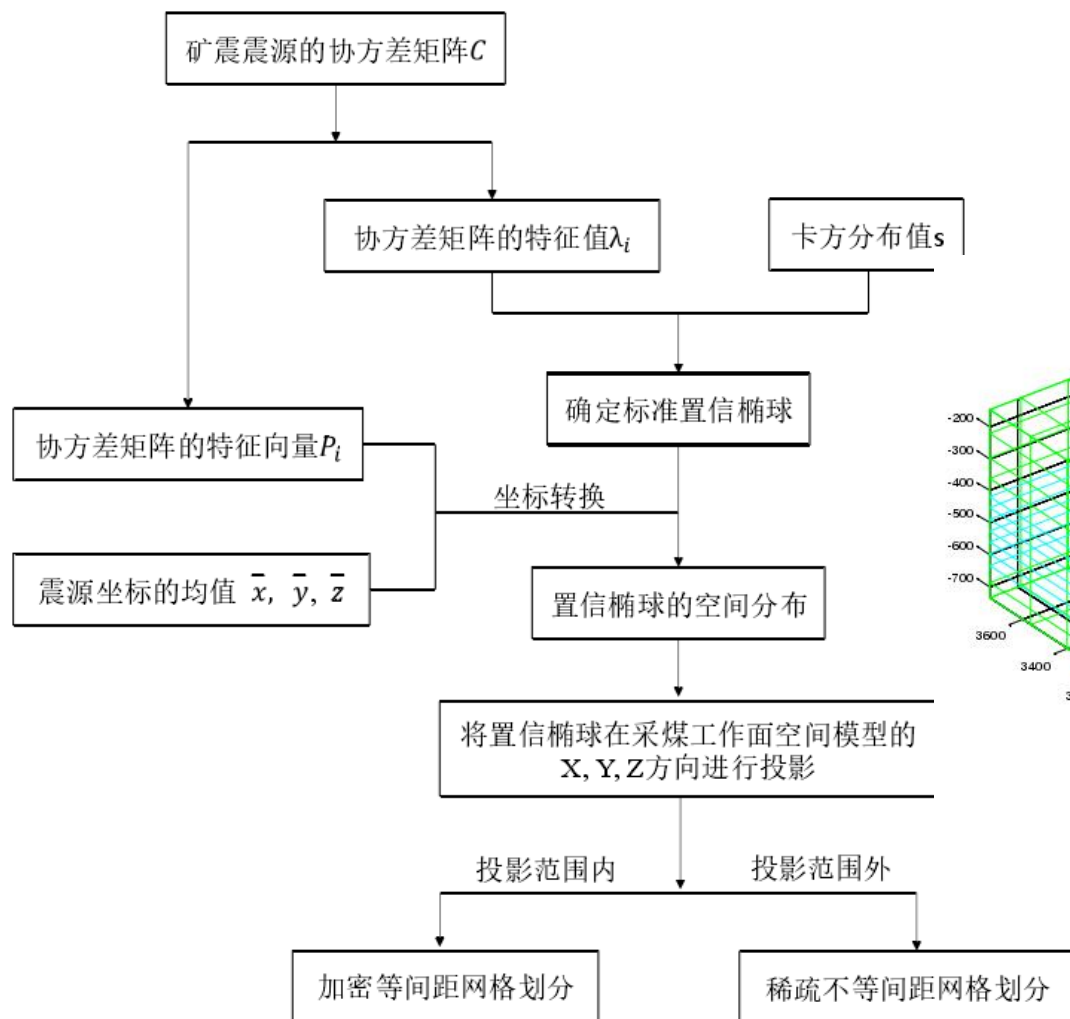
三、被动CT反演预警冲击地压危险

被动CT反演原理



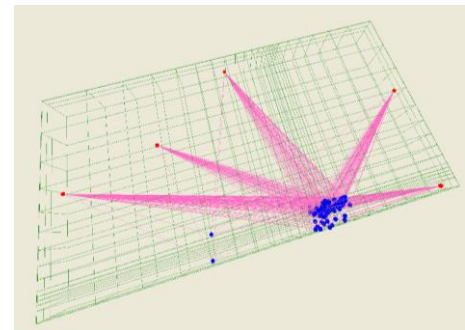
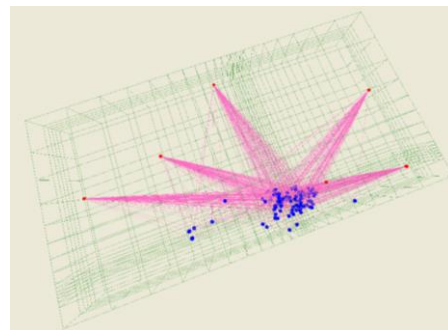
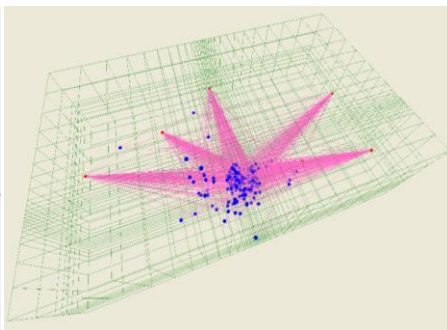
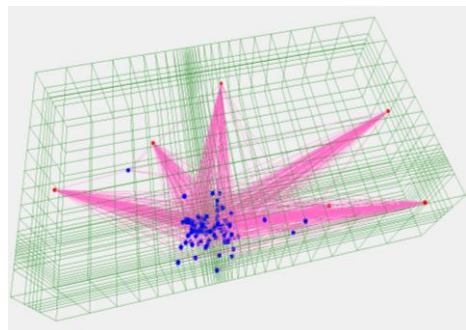
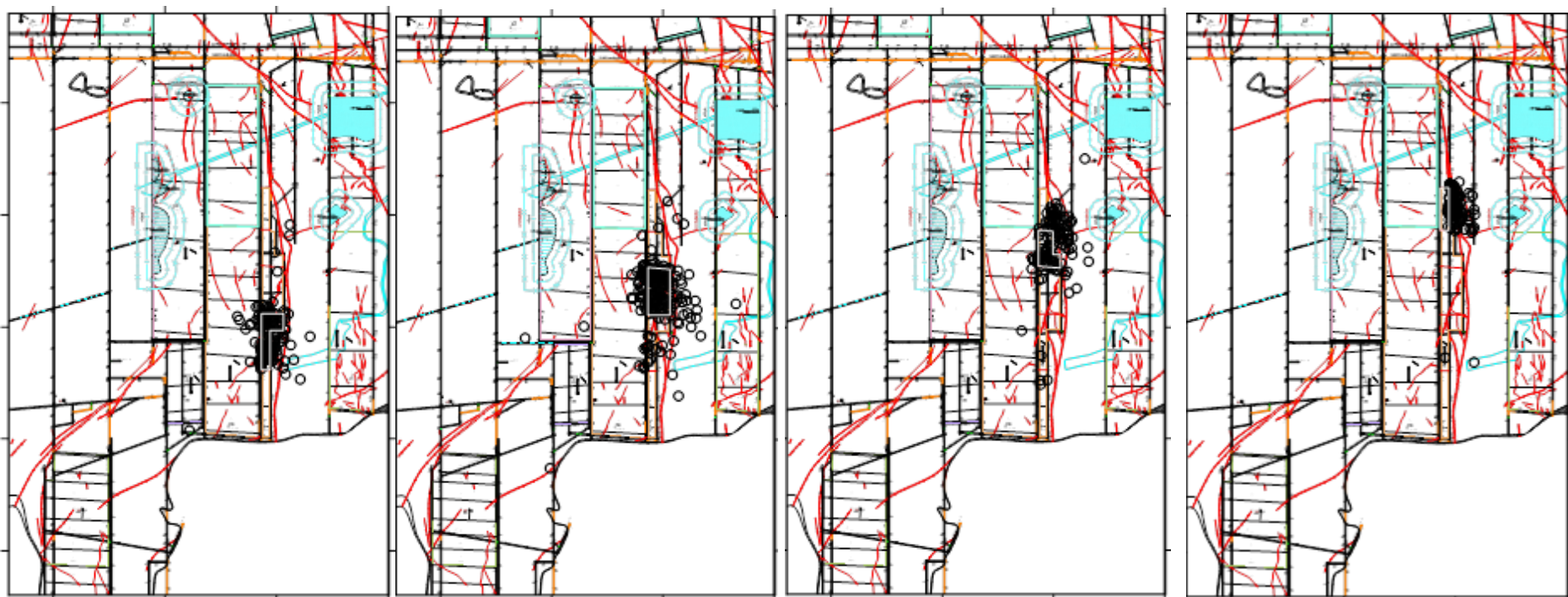
三、被动CT反演预警冲击地压危险

不等间距网格划分



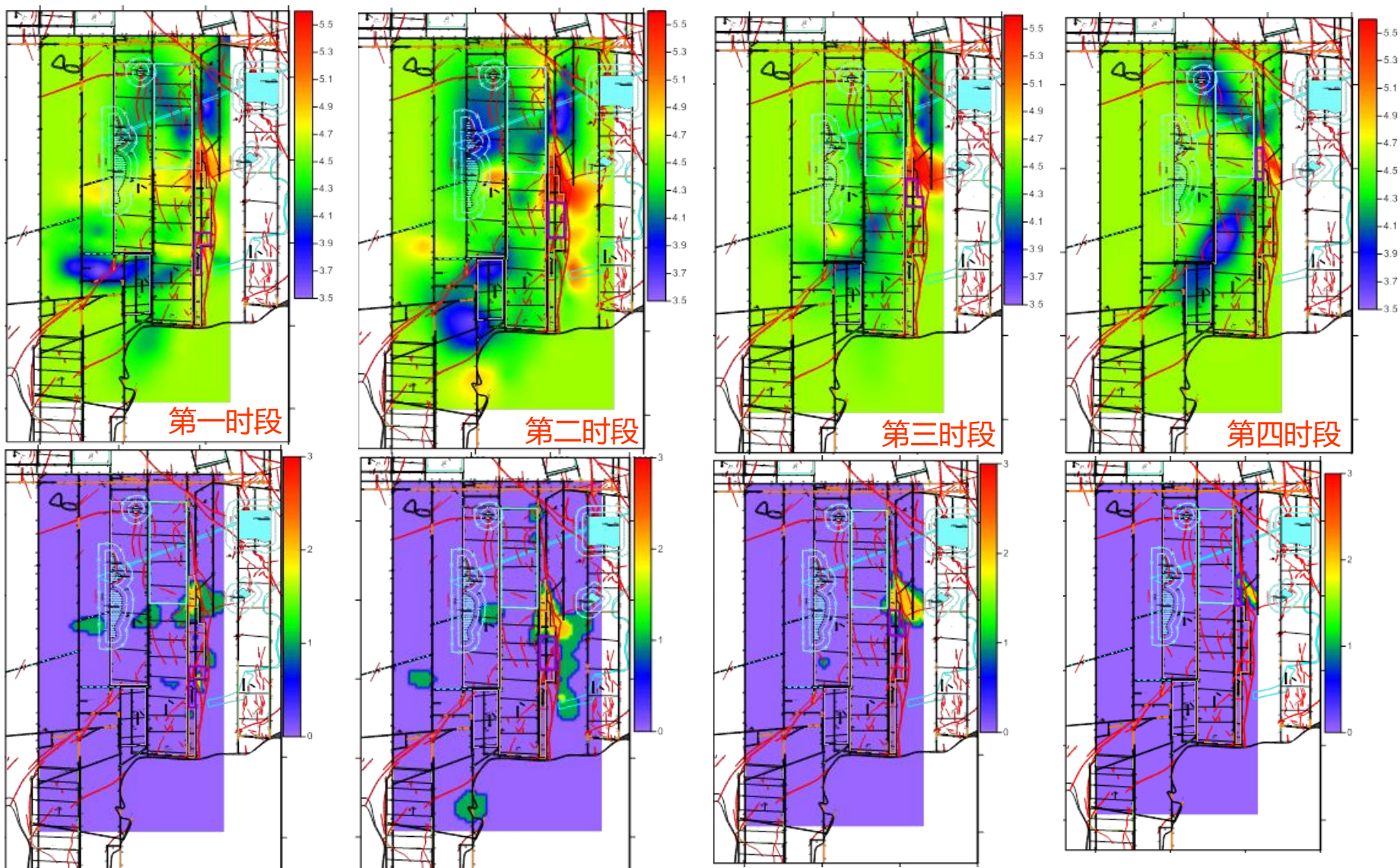
三、被动CT反演预警冲击地压危险

□ 预警应用



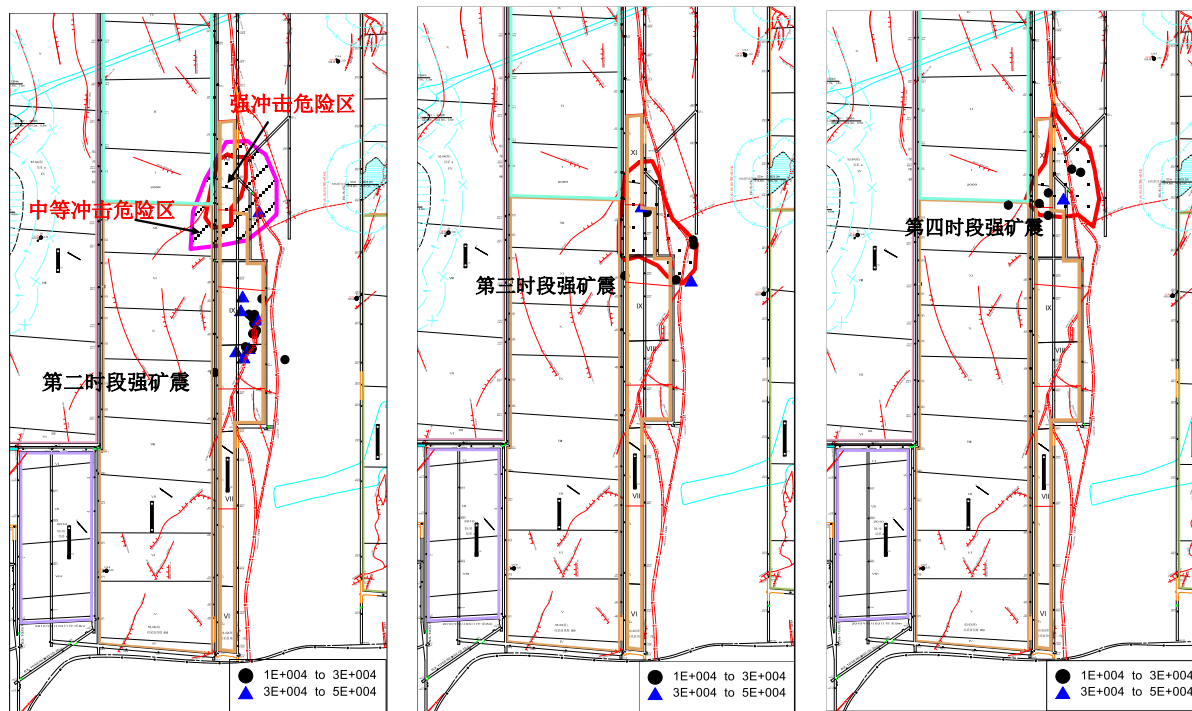
三、被动CT反演预警冲击地压危险

□ 预警应用



三、被动CT反演预警冲击地压危险

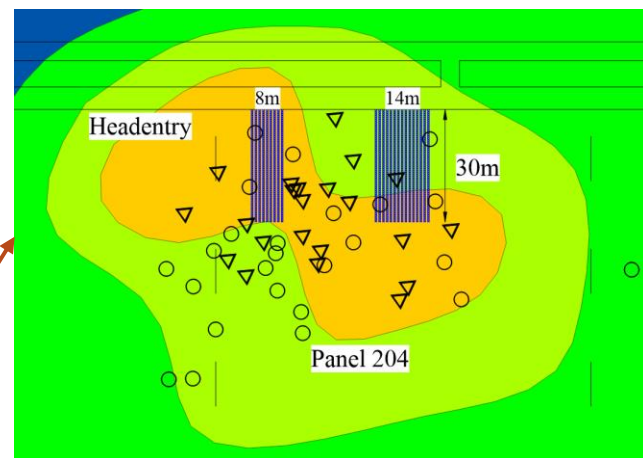
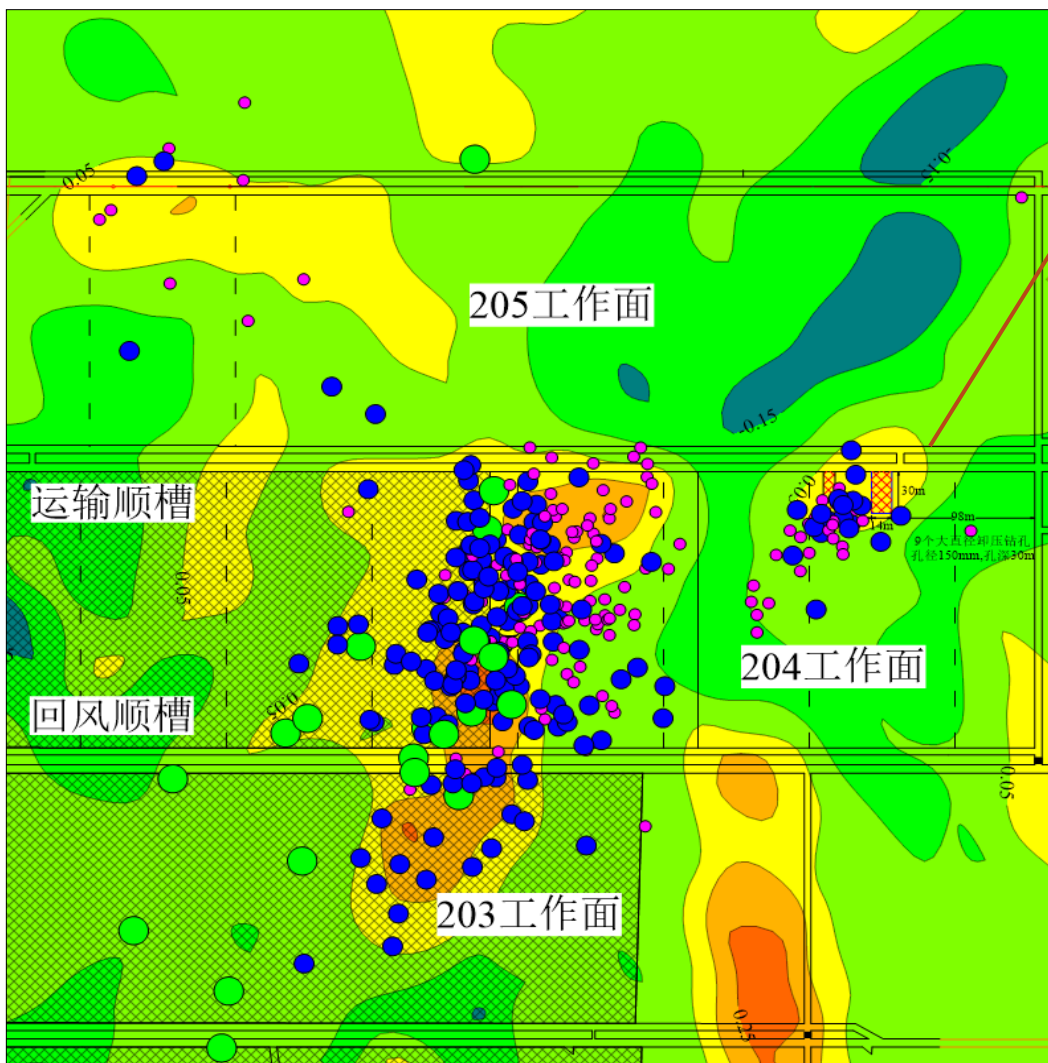
预警效果



时间范围	能量范围	落入上一时段预警范围比例	冲击情况统计
第二时段	10^4J 至 $5 \times 10^4\text{J}$	较低，高应力区未受生产活动影响	无冲击
第三时段	10^4J 至 $5 \times 10^4\text{J}$	86%	无冲击
第四时段	10^4J 至 $5 \times 10^4\text{J}$	86%	弱冲击，落入预警范围

三、被动CT反演预警冲击地压危险

□ 预警应用及效果



- 反演数据：05.26-05.30期间974次矿震5881条射线；
- 反演结果：超前204工作面190m-320m运输顺槽侧波速高值异常，为应力集中区域；
- 05.31-06.01期间共施工22个大直径钻孔，孔深30m，孔径153mm；

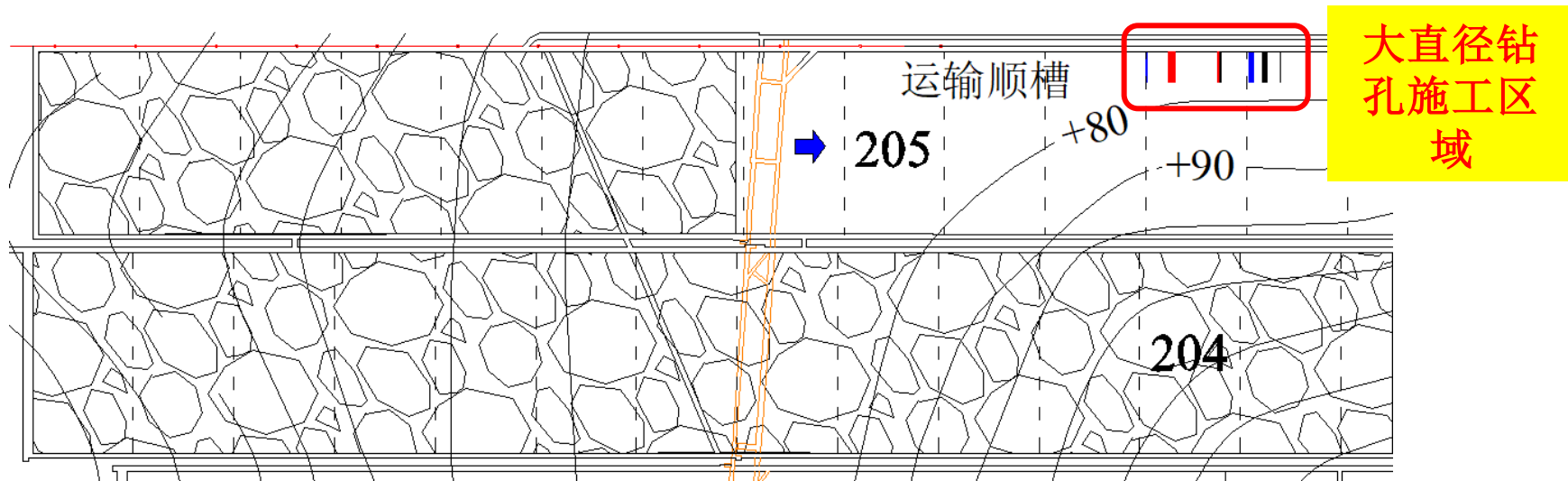
三、被动CT反演预警冲击地压危险

□ 预警应用

205工作面运输顺槽

□ 205工作面概况

- 205综放工作面长度180m，煤厚平均12.0m，具有强冲击危险；
- 至2020.09.27：205累计推进690m，09.27-29大直径钻孔区域超前405m-540m运输顺槽，超出205工作面采动超前影响范围。



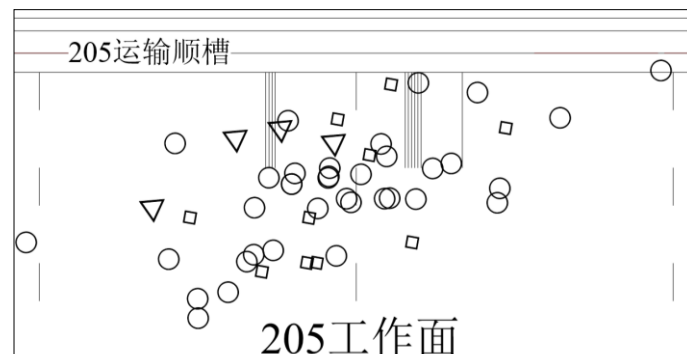
三、被动CT反演预警冲击地压危险

卸压工程

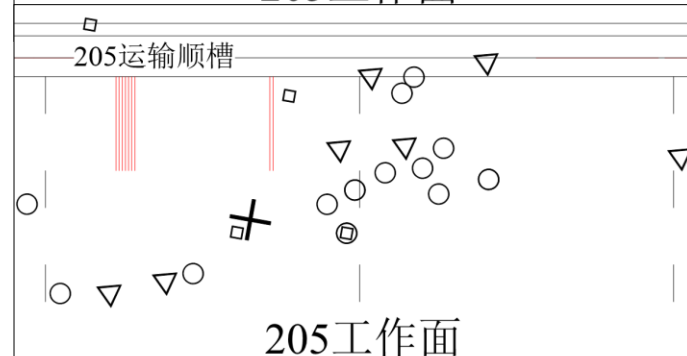
大直径钻孔施工概况

- **2020.09.27**: 205运输顺槽施工
大直径钻孔**11**个;
- **2020.09.28**: 205运输顺槽施工
大直径钻孔**9**个;
- **2020.09.29**: 205运输顺槽施工
大直径钻孔**9**个;
- 孔深为**30m**, 直径为**153mm**,
超前工作面**405m-540m**区域。

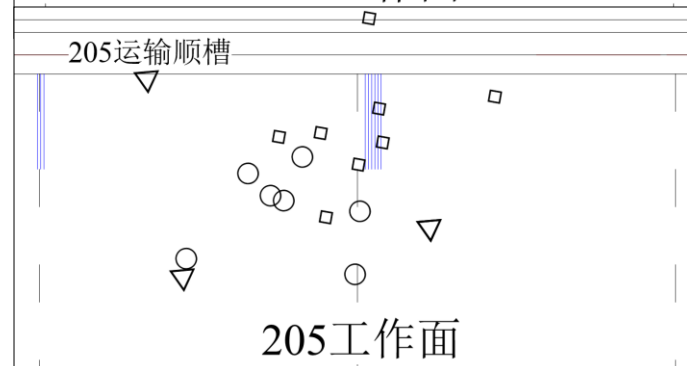
2020.09.27



2020.09.28



2020.09.29



- ◇ 0E+0 to 1E+2
- 1E+2 to 1E+3
- △ 1E+3 to 1E+4
- × 1E+4 to 1E+5

三、被动CT反演预警冲击地压危险

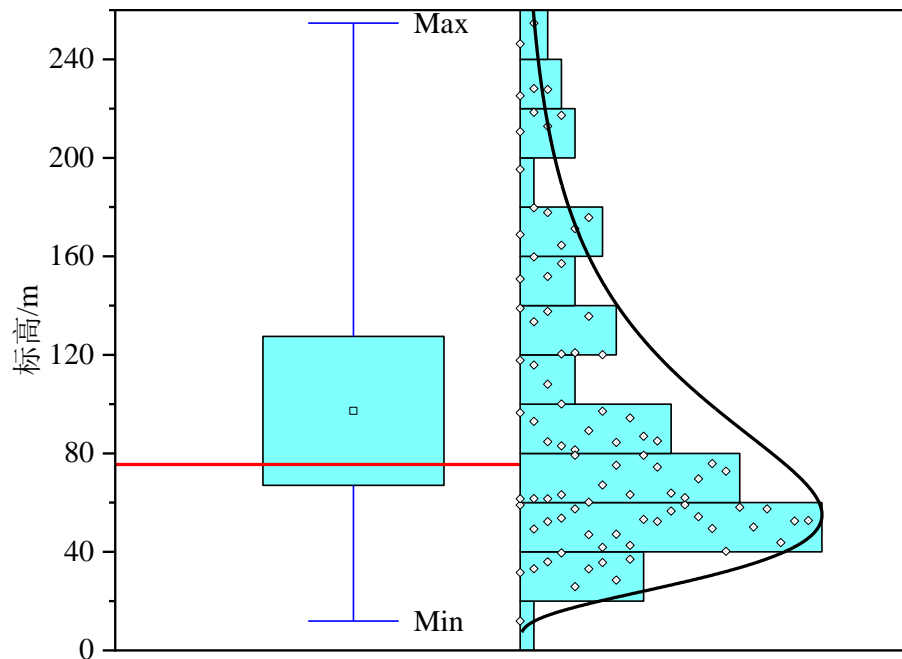
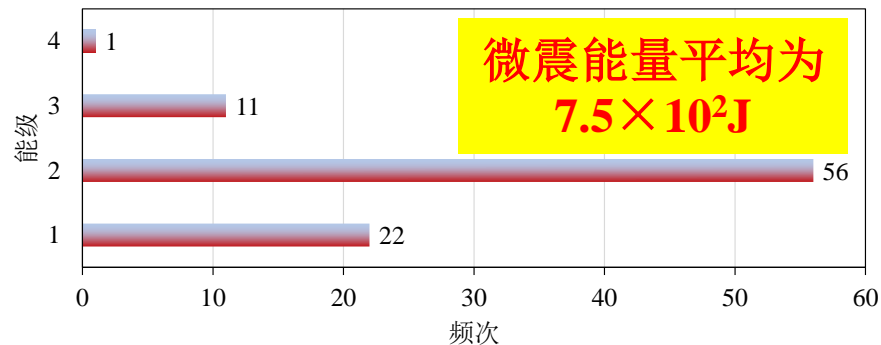
□ 预警效果

□ 微震概况

2020.09.27-29

- 大直径钻孔施工区域煤层底板标高70-85m，煤层厚度10.7-13.7m，平均12.3m；
- 微震以2次方和1次方为主，占87%，3次方以上事件较少，微震平均能量为 $7.5 \times 10^2 \text{J}$ ；
- 微震震源标高主要分布在+30m-+100m，在误差范围之内。

205工作面运输顺槽



三、被动CT反演预警冲击地压危险

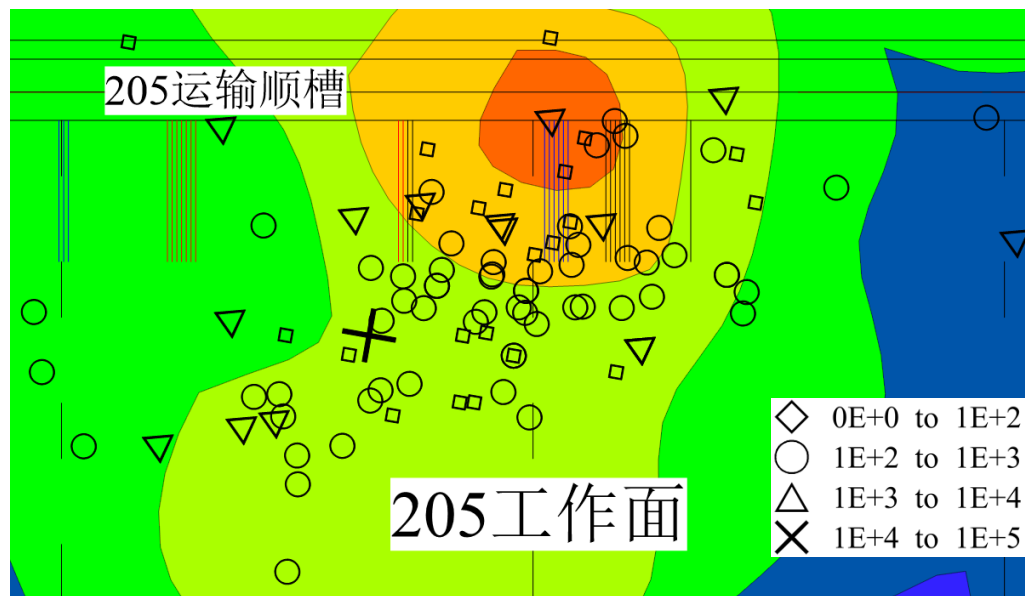
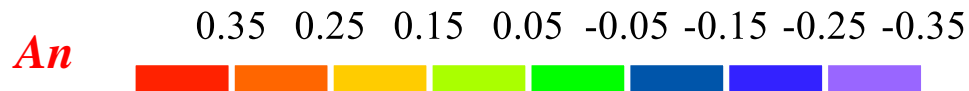
□ 预警效果

205工作面运输顺槽

□ 应力分布概况

- 反演数据：2020.08.27-09.24期间513次矿震2952条射线；
- 反演结果：超前205工作面450m-560m运输顺槽侧波速高值异常，为应力集中区域；
- 微震分布区域与反演高应力区域和大直径钻孔施工区域相吻合。

2020.09.27震动波CT反演结果
与后期矿震、大直径钻孔区域对照



汇报提纲

一、研究背景

二、主动CT反演预警冲击地压危险

三、被动CT反演预警冲击地压危险

四、双震源融合CT反演预警冲击地压危险

五、结论

四、双震源融合CT反演预警冲击地压危险

□ 双震源融合CT反演的提出

开采过程中应力不断演化，预警应同步进行
反演周期长遏制震动波CT反演预警效能

□ 解决思路：

综合主、被动震动波CT反演特点，将可控及准确的主动源反演与低成本大范围的被动反演相结合，构建主被动双源融合一体化反演技术，提升反演结果的可靠性，实现反演周期的可控，进而对冲击地压的连续监测预警。

四、双震源融合CT反演预警冲击地压危险

➤ 双源震动波一体化CT反演

◆ 实验设备

16通道接收信号兼具超声信号发射功能

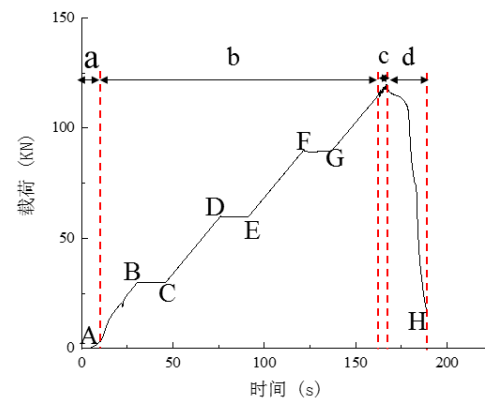
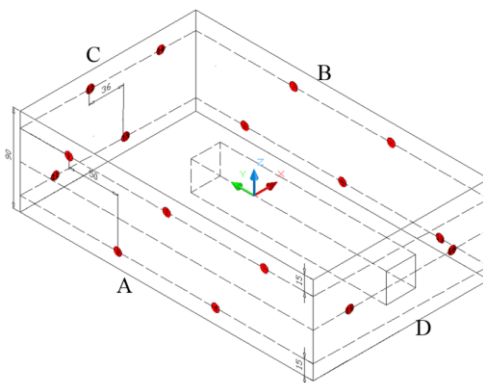
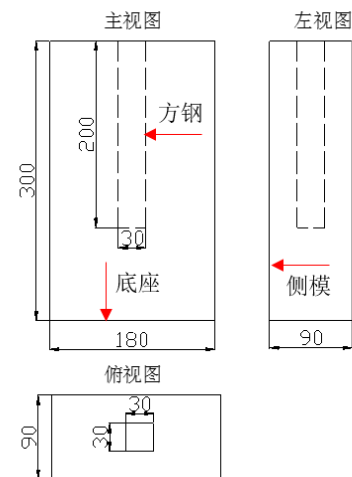


超声/声发射一体化测试系统与电子伺服压力机

◆ 试样制备

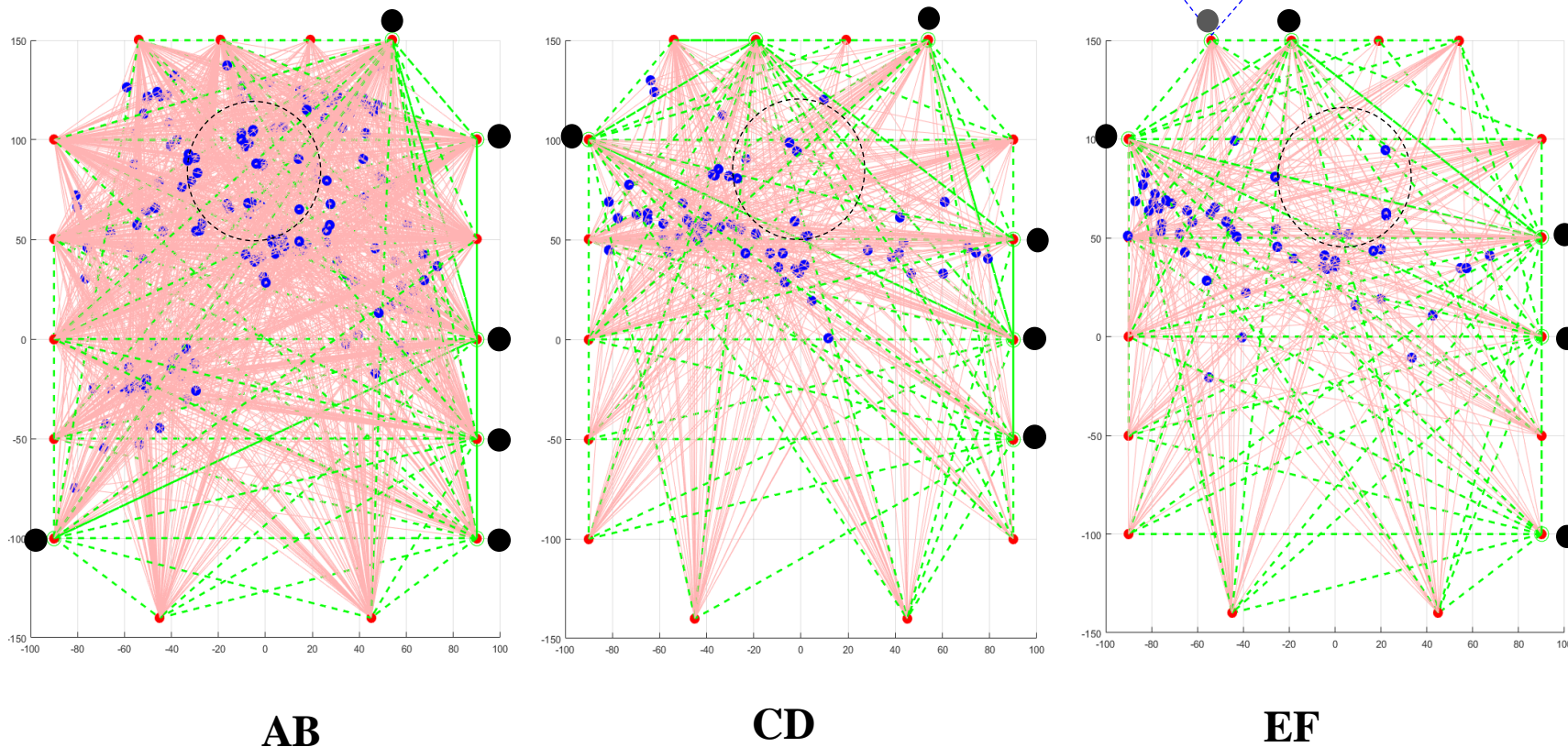
300×180×90mm (中心有30mm方形孔)

单位: mm



四、双震源融合CT反演预警冲击地压危险

▶ 双源震动波一体化CT反演

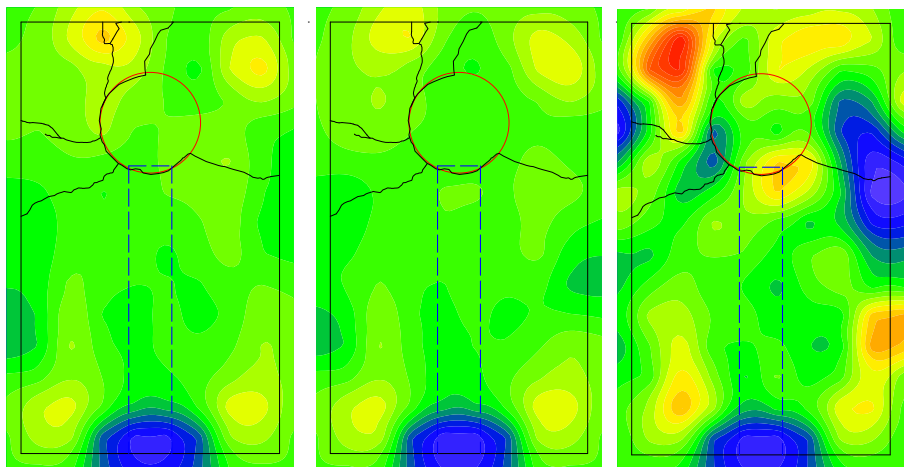


新增射线分布 (绿色)

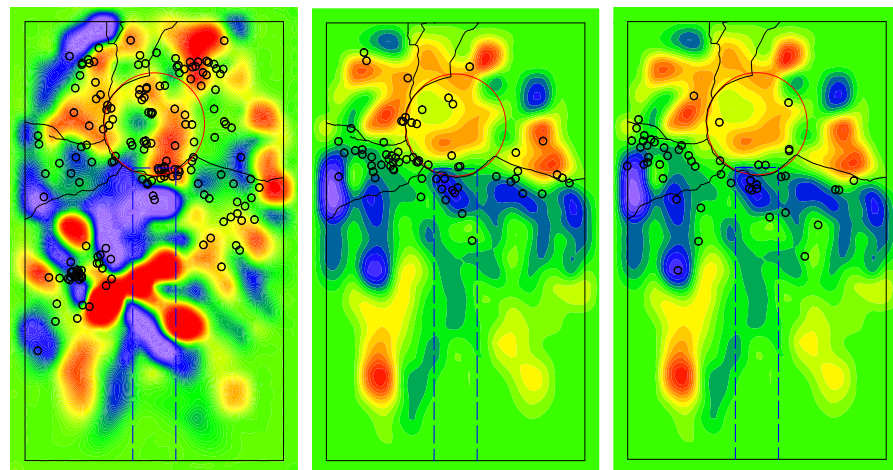
四、双震源融合CT反演预警冲击地压危险

➤ 双源震动波一体化CT反演

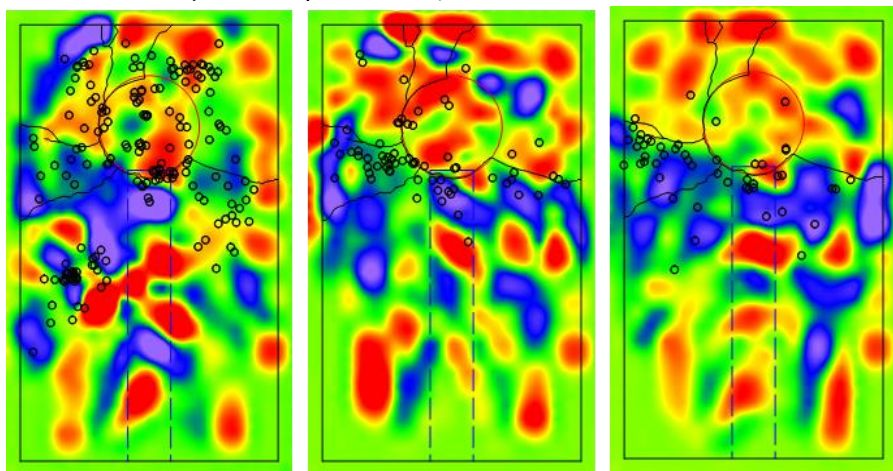
● 主动反演



● 被动反演



● 双源融合反演



AB

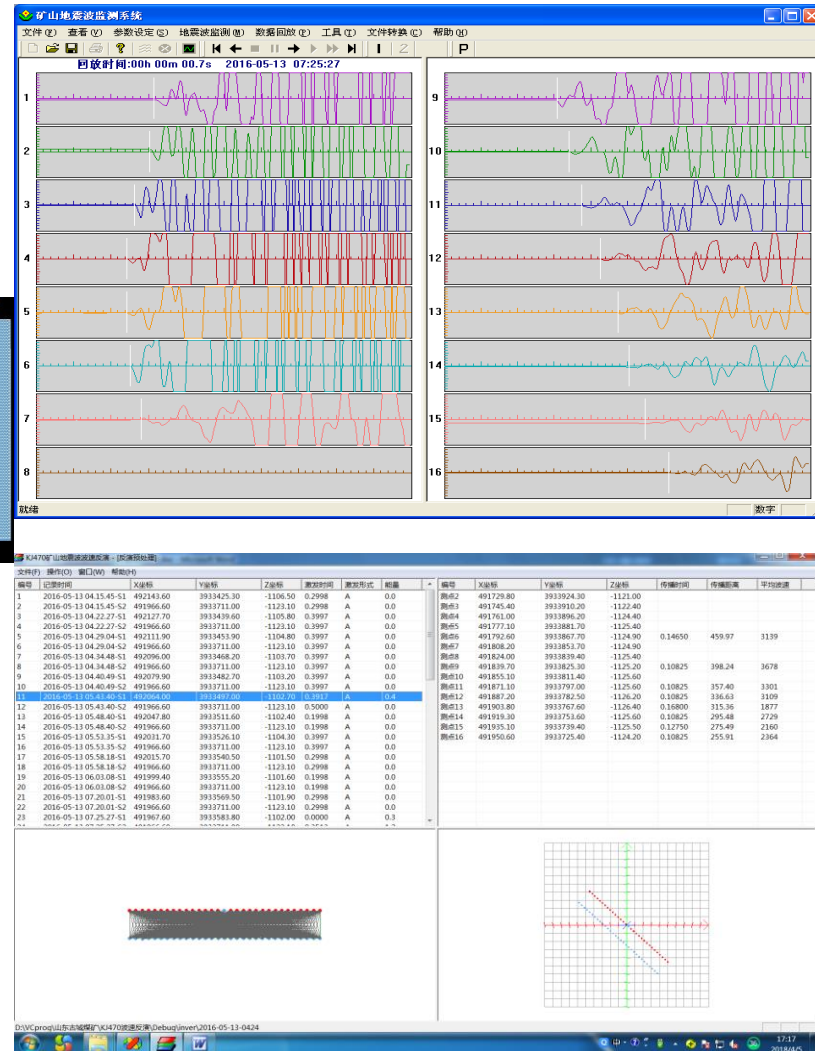
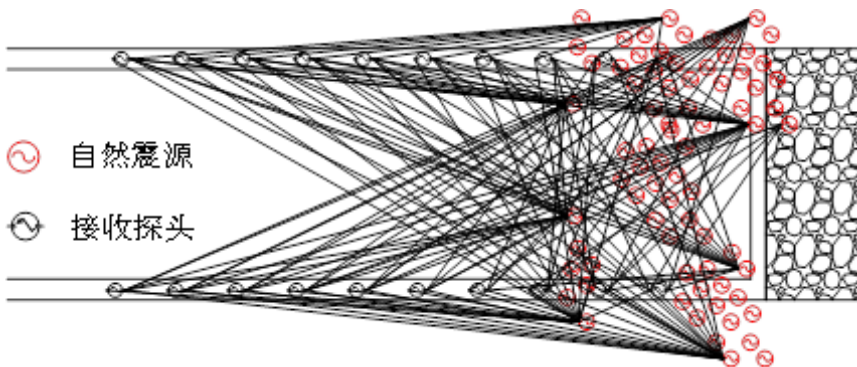
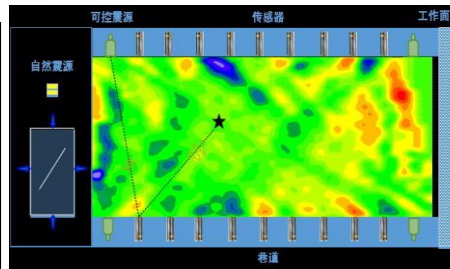
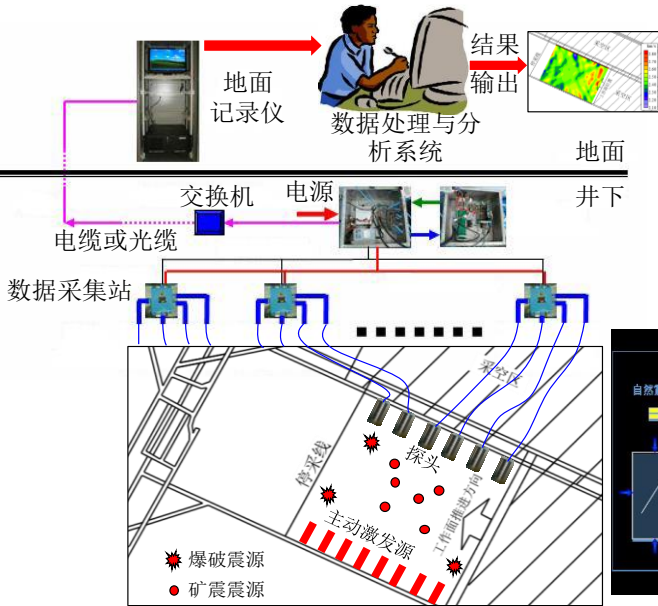
CD

EF

- ① 主动反演，因数据量小，效果不佳；
- ② 被动反演与双源融合反演波速分布相似，但双源融合反演的分辨率高

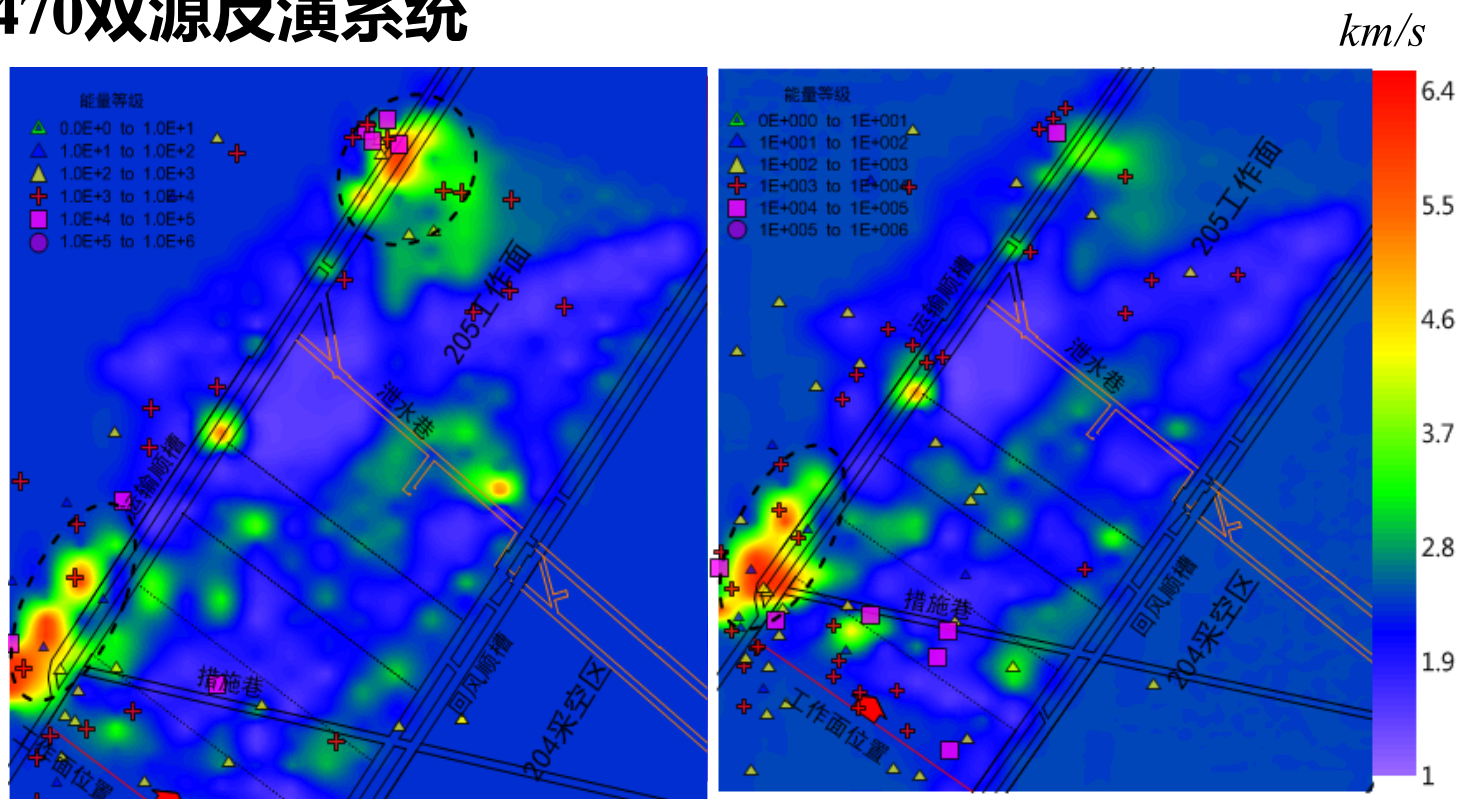
四、双震源融合CT反演预警冲击地压危险

□ KJ470双源反演系统



四、双震源融合CT反演预警冲击地压危险

□ KJ470双源反演系统



2020年6月5日

2020年6月6日

- 6月5日共发生 10^4 至 10^5 矿震共6次，其中处于高波速区域的有5次
- 6月6日共发生 10^4 至 10^5 矿震共8次，其中处于高波速区域的有4次

汇报提纲

一、研究背景

二、主动CT反演预警冲击地压危险

三、被动CT反演预警冲击地压危险

四、双震源融合CT反演预警冲击地压危险

五、结论

五、结论

- 基于纵波波速与应力存在的正相关关系，震动波CT反演技术是目前探测和评价冲击地压危险空间分布的最有效有段；
- 冲击地压危险空间预警准确性要高于冲击地压时序预警准确性；
- 双源震动波CT反演方法集合了主动CT反演可靠、周期可控和被动CT反演成本低、实施效率高的特点，可作为未来冲击地压危险空间预警的有效和可靠有段；
- 震动波CT反演技术为制定有效防治措施提供了依据。

恭请指导，谨致感谢！

