



# 冲击矿压预测与监测实用技术

---

汇报人：贺虎 博士 副教授

TEL:13705206814

E-mail: [hehu@cumt.edu.cn](mailto:hehu@cumt.edu.cn)

中国矿业大学



# 汇报内容

---

-  **预测预警流程**
-  **预测评价技术**
-  **监测预警技术**
-  **预警指标体系**



# 1 冲击矿压预测预警流程

- 《煤矿安全规程》、《细则》流程
- 煤岩冲击倾向性鉴定（评估）——评价——确定冲击地压煤层——确定冲击地压矿井；（第九—十三条件）
- 冲击危险性评价可采用**综合指数法**或其他经实践证实有效的方法。评价结果分为**四级**：无冲击地压危险、弱冲击地压危险、中等冲击地压危险、强冲击地压危险。（第十五条）
- 开采冲击地压煤层时，必须采取冲击地压危险性预测、监测预警、防范治理、效果检验、安全防护等综合性防治措施。  
（二十二条）



# 1 冲击矿压预测预警流程

- 冲击地压矿井必须进行区域危险性**预测**（以下简称区域预测）和局部危险性**预测**（以下简称局部预测）（四十四条）
- 冲击地压矿井必须建立区域与局部相结合的冲击危险性**监测**制度，区域监测应当覆盖矿井采掘区域，局部监测应当覆盖冲击地压危险区，区域监测可采用微震监测法等，局部监测可采用钻屑法、应力监测法、电磁辐射法等。（四十六条）





# 1 冲击矿压预测预警流程

危险等级	防治对策
<b>A</b> 无危险	正常进行设计及生产作业。
<b>B</b> 弱危险	考虑冲击地压影响因素进行开采设计，还应满足： <ol style="list-style-type: none"><li>1. 配备必要的监测检验和治理设备。</li><li>2. 制定监测和治理方案，作业中进行冲击地压危险监测、解危和效果检验。</li></ol>
<b>C</b> 中等危险	考虑冲击地压影响因素进行开采设计，合理选择巷道及硐室布置方案、工作面接替顺序；优化主要巷道及硐室的设计参数、支护方式、掘进速度、采煤工作面超前支护距离及方式等。还应满足： <ol style="list-style-type: none"><li>1. 配备完备的区域与局部监测检验设备和治理装备。</li><li>2. 采掘作业前，对采煤工作面支承压力影响区域、掘进煤层巷道迎头及后方巷帮采取预卸压措施。</li><li>3. 设置人员限制区域、确定避灾路线。</li><li>4. 制定监测和治理方案，作业中进行冲击地压监测、解危和效果检验。</li></ol>
<b>D</b> 强危险	考虑冲击地压影响因素进行开采设计，合理选择巷道及硐室布置方案、工作面接替顺序等；优化巷道及硐室设计参数、支护方式和掘进速度等；优化采煤工作面顶板支护、推进速度、超前支护距离及方式、采放煤高度等参数。还应满足： <ol style="list-style-type: none"><li>1. 配备完备的区域与局部监测检验设备和治理装备。</li><li>2. 采掘作业前，对采煤工作面回采巷道、掘进煤层巷道迎头及后方的巷帮实施全面预卸压，经检验冲击地压危险解除后方可进行作业。</li><li>3. 制定监测和治理方案，作业中加强冲击地压危险的监测、解危和效果检验措施；监测采掘作业对周边巷道、硐室等的扰动影响，并制定对应的治理措施。</li><li>4. 设置躲避硐室、人员限制区域、确定避灾路线。</li></ol> 如果经充分采取解危治理措施后，仍不能保证安全时，应停止生产或重新设计。



## 2 冲击危险预测评价技术

### ■综合指数法

### ■可能性指数法

### ■经验类比法

### ■多因素耦合分析法

### ■多因素模式识别法

### ■地质动力区划法

### ■应力分析法

### ■应用范围广

### ■简单易于理解

### ■课操作性强

### ■不易操作

### ■适于研究

### ■辅助取值



# 2 冲击危险预测评价技术

## 可能性指数法

### 可能性指数诊断法 $U = (U_{I_c} + U_{W_{et}}) / 2$

$$U_{I_c} = \begin{cases} 0.5I_c & \dots\dots I_c \leq 1.0 \\ I_c - 0.5 & \dots\dots 0 < I_c < 1.5 \\ 1.0 & \dots\dots I_c \geq 1.5 \end{cases} \quad U_{W_{et}} = \begin{cases} 0.5W_{et} & \dots\dots W_{et} \leq 2.0 \\ 0.133W_{et} + 0.333 & \dots\dots 2.0 < W_{et} < 5.0 \\ 1.0 & \dots\dots W_{et} \geq 5.0 \end{cases}$$

U	0-0.6	0.6-0.8	0.8-0.9	0.9-1.0
可能性	不可能	可能	很可能	能够

### 可能性指数法—参考细则专家解读 $I_c = \sigma / \sigma_c$

$I_c$	$I_c < 1.5$	$1.5 \leq I_c < 2.0$	$2.0 \leq I_c < 2.5$	$I_c \geq 2.5$
冲击危险等级	无	弱	中	强



## 2 冲击危险预测评价技术

■ **经验类比法**——定性分析，难于定级

■ 冲击矿压发生历史

■ 相似条件下的矿压显现

注意：

◆ 可以用“有”判断“有”

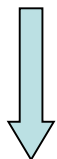
◆ 不能用“无”判断“无”



## 2 冲击危险预测评价技术

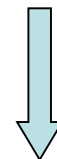
### ■ 危险性预测评价技术

■ 综合指数法



■ 危险指数和等级

■ 多因素耦合法



■ 分级分区划分区域

■ 指导设计、监测和防治对策



## 2 冲击危险预测评价技术

### ■综合指数法

是在综合分析评价各类（种）采矿、地质因素对冲击地压发生影响权重的基础上，评估矿井、采区、采煤工作面或巷道的冲击地压危险综合指数、冲击地压危险等级和状态，并预先制定相应的防治对策。

### ■多因素耦合分析法

综合分析综合指数法中对应的各类（种）影响因素及权重，考虑多因素相互叠加影响，评估不同地段冲击地压危险多因素耦合指数和冲击地压危险程度（按无、弱、中等、强划分），并对回采区域进行分段定级。



## 2.1 综合指数法

□ 综合指数法既是一种早期评价预测的方法，又是一种区域和局部预测的方法。

☑ 地质因素确定冲击危险：主要考虑了冲击矿压发生的情况、开采深度、地质构造、坚硬顶板、顶板厚度特征参数、煤的冲击倾向性、煤的强度等7个因素。

☑ 开采因素确定冲击危险：主要考虑了开采技术条件、开采历史、煤柱、停采线、采空区、煤层的变化带、断层皱曲等11（12）个开采因素对冲击矿压发生的影响。

$$W_{t1} = \frac{\sum_{i=1}^7 X_i}{\sum_{i=1}^7 X_{i \max}}$$

$$W_{t2} = \frac{\sum_{i=1}^{11(12)} X_i}{\sum_{i=1}^{11(12)} X_{i \max}}$$

序号	影响因素	因素说明	因素分类	危险指数
1	W <sub>1</sub>	同一水平煤层冲击地压发生历史（次数/n）	n=0	0
			n=1	1
			2≤n<3	2
			n≥3	3
2	W <sub>2</sub>	开采深度h	h≤400m	0
			400m<h≤600m	1
			600m<h≤800m	2
			h>800m	3
3	W <sub>3</sub>	上覆裂隙带内坚硬厚层岩距煤层的距离d	d>100m	0
			50m<d≤100m	1
			20m<d≤50m	2
			d≤20m	3
4	W <sub>4</sub>	煤层上方100m范围顶板岩层厚度特征参数L <sub>st</sub>	L <sub>s</sub> <50m	0
			50m<L <sub>st</sub> ≤70m	1
			70m<L <sub>st</sub> ≤90m	2
			L <sub>st</sub> >90m	3
5	W <sub>5</sub>	开采区域内构造引起的应力增量与正常应力值之比γ=(σ <sub>g</sub> -σ)/σ	γ≤10%	0
			10% < γ ≤ 20%	1
			20% < γ ≤ 30%	2
			γ > 30%	3
6	W <sub>6</sub>	煤的单轴抗压强度Rc	Rc≤10MPa	0
			10MPa<Rc≤14 MPa	1
			14MPa<Rc≤20MPa	2
			Rc>20MPa	3
7	W <sub>7</sub>	煤的弹性能指数W <sub>ET</sub>	W <sub>ET</sub> <2	0
			2≤W <sub>ET</sub> <3.5	1
			3.5≤W <sub>ET</sub> <5	2
			W <sub>ET</sub> ≥5	3



序号	影响因素	因素说明	因素分类	危险指数
1	$W_1$	保护层的卸压程度	好	0
			中等	1
			一般	2
			很差	3
2	$W_2$	工作面距上保护层开采遗留的煤柱的水平距离 $h_z$	$h_z \geq 60\text{m}$	0
			$30\text{m} \leq h_z < 60\text{m}$	1
			$0\text{m} \leq h_z < 30\text{m}$	2
			$h_z < 0\text{m}$ (煤柱下方)	3
3	$W_3$	工作面与临近采空区的关系	实体煤工作面	0
			一侧采空	1
			两侧采空	2
			三侧及以上采空	3
4	$W_4$	工作面长度 $L_m$	$L_m > 300\text{m}$	0
			$150\text{m} \leq L_m < 300\text{m}$	1
			$100\text{m} \leq L_m < 150\text{m}$	2
			$L_m < 100\text{m}$	3
5	$W_5$	区段煤柱宽度 $d$	$d \leq 3\text{m}$ , 或 $d \geq 50\text{m}$	0
			$3\text{m} < d \leq 6\text{m}$	1
			$6\text{m} < d \leq 10\text{m}$	2
			$10\text{m} < d < 50\text{m}$	3
6	$W_6$	留底煤厚度 $t_d$	$t_d = 0\text{m}$	0
			$0\text{m} < t_d \leq 1\text{m}$	1
			$1\text{m} < t_d \leq 2\text{m}$	2
			$t_d > 2\text{m}$	3

序号	影响因素	因素说明	因素分类	危险指数
7	W <sub>7</sub>	向采空区掘进的巷道， 停掘位置与采空区的距离L <sub>jc</sub>	L <sub>jc</sub> ≥150m	0
			100m≤L <sub>jc</sub> <150m	1
			50m≤L <sub>jc</sub> <100m	2
			<50m	3
8	W <sub>8</sub>	向采空区推进的工作面， 停采线与采空区的距离L <sub>mc</sub>	L <sub>mc</sub> ≥300m	0
			200m≤L <sub>mc</sub> <300m	1
			100m≤L <sub>mc</sub> <200m	2
			L <sub>mc</sub> <100m	3
9	W <sub>9</sub>	向落差大于3m的断层推进的工作面或 巷道，工作面或迎头与断层的距离L <sub>d</sub>	L <sub>d</sub> ≥100m	0
			50m≤L <sub>d</sub> <100m	1
			20m≤L <sub>d</sub> <50m	2
			L <sub>d</sub> <20m	3
10	W <sub>10</sub>	向煤层倾角剧烈变化（>15°）的向斜 或背斜推进的工作面或巷道，工作面或 迎头与之的距离L <sub>z</sub>	L <sub>z</sub> ≥50m	0
			20m≤L <sub>z</sub> <50m	1
			10m≤L <sub>z</sub> <20m	2
			L <sub>z</sub> <10m	3
11	W <sub>11</sub>	向煤层侵蚀、合层或厚度变化部分推进 的工作面或巷道，接近煤层变化部分的 距离L <sub>b</sub>	L <sub>b</sub> ≥50m	0
			20m≤L <sub>b</sub> <50m	1
			10m≤L <sub>b</sub> <20m	2
			L <sub>b</sub> <10m	3



# 综合指数法2

序号	影响因素	因素说明	因素分类	危险指数
1	$W_1$	发生过冲击矿压	$n=0$	-2
			发生过冲击矿压	0
			多次发生	3
2	$W_2$	开采深度 $h$	$h \leq 400m$	0
			$500m < h \leq 700m$	1
			$h > 700m$	2
3	$W_3$	顶板岩中坚硬厚层岩层距煤层的距离	$d > 100m$	0
			$50m < d \leq 100m$	1
			$d \leq 50m$	3
4	$W_4$	煤层上方100m范围顶板岩层厚度特征参数 $L_{st}$	$L_{st} < 50$	0
			$L_{st} \geq 50$	2
5	$W_5$	开采区域内构造引起的应力增量与正常应力值之比 $\gamma = (\sigma_g - \sigma) / \sigma$	$\gamma > 10\%$	1
			$\gamma > 20\%$	2
			$\gamma > 30\%$	3
6	$W_6$	煤的单轴抗压强度 $R_c$	$R_c \leq 16MPa$	0
			$R_c > 16 MPa$	2
7	$W_7$	煤的弹性能指数 $W_{ET}$	$W_{ET} < 2$	0
			$2 \leq W_{ET} < 5$	2
			$W_{ET} \geq 5$	4

序号	影响因素	因素说明	因素分类	危险指数
1	W <sub>1</sub>	工作面距残留区或停采线的垂直距离	>60m	0
			60-30m	2
			<30m	3
2	W <sub>2</sub>	未卸压的厚煤层	顶煤或底煤厚度大于1.0m	3
3	W <sub>3</sub>	未卸压一次采全高的煤厚	<3.0m	0
			3.0-4.0m	1
			>4.0m	3
4	W <sub>4</sub>	两侧采空，工作面斜长为	L <sub>m</sub> >300m	0
			150m≤L <sub>m</sub> <300m	2
			L <sub>m</sub> <150m	4
5	W <sub>5</sub>	沿采空区掘进的巷道煤柱宽度	d≤3m	0
			3m<d≤10m	2
			10m<d≤15m	4
6	W <sub>6</sub>	接近煤柱的距离小于50m	掘进面	2
			回采面	3

序号	影响因素	因素说明	因素分类	危险指数
7	W <sub>7</sub>	掘进工作面接近老巷的距离小于50m	老巷已充填	1
			老巷未充填	2
		回采工作面接近老巷的距离小于30m	老巷已充填	1
			老巷未充填	2
		面接近分叉的距离小于50m	掘进或回采面	3
8	W <sub>8</sub>	面接近落差大于3m的断层距离小于50m	接近上盘	1
			接近下盘	2
9	W <sub>9</sub>	面接近煤层倾角的褶曲小于50m	≥15度	2
10	W <sub>10</sub>	面接近煤层侵蚀或合并部分	掘进面或回采面	2
11	W <sub>11</sub>	开采过上或下解放层，卸压程度	弱	-2
			中等	-4
			好	-8
12	W <sub>12</sub>	采空区处理方式	充填法	2
			垮落法	0



## 2.1 综合指数法

### ◆冲击矿压危险程度的预测预报

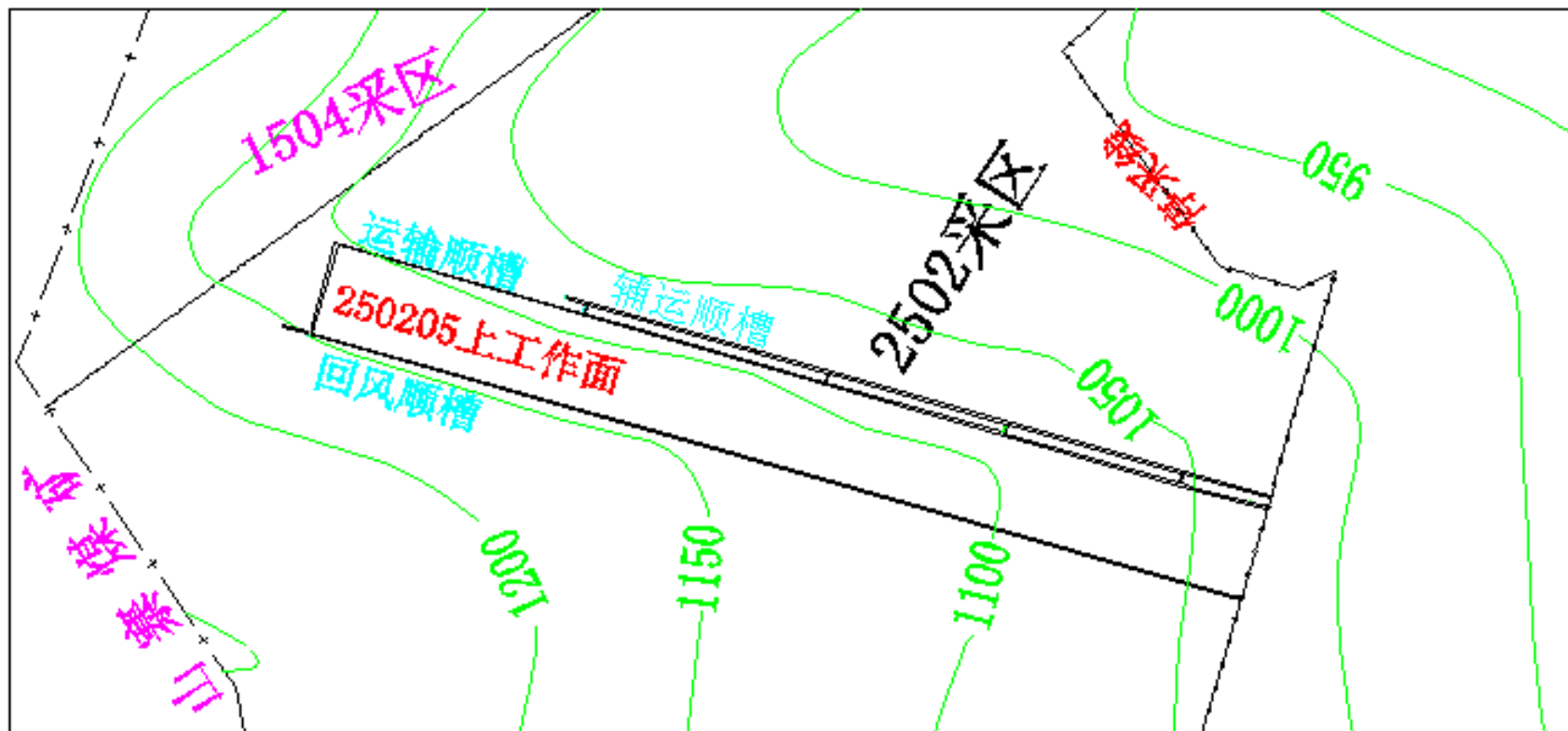
以上给出了采掘工作面周围地质因素和采矿技术因素对冲击矿压的影响程度及冲击矿压危险状态等级评定的指数 $W_{t1}$ 和 $W_{t2}$ 的具体表表达式，根据这两个指数，用下式就可确定出采掘工作面周围冲击矿压危险状态等级评定的综合指数 $W_t$ 。

$$W_t = \max\{W_{t1}, W_{t2}\}$$

式中， $W_t$ 为某采掘工作面的冲击矿压危险状态等级评定综合指数，以此可圈定冲击矿压危险程度。



## 2.1 综合指数法



华亭煤业砚北煤矿250205上工作面



## 2.1 综合指数法

### □ 取值说明—地质因素：

- [1]  $W_1$ —5层煤中多次发生过冲击矿压，取值3；
- [2]  $W_2$ —开采深度为450-462m，小于500m，取值0；
- [3]  $W_3$ —顶板硬厚岩层距5煤层的距离小于50m，取值3；
- [4]  $W_4$ —向斜构造造成一定程度应力集中，取值2；
- [5]  $W_5$ —顶板岩层厚度特征参数大于50，取值2；
- [6]  $W_6$ —煤体的单轴抗压强度大于16MPa，取值2；
- [7]  $W_7$ —煤的冲击能量指数大于5，取值2；





## 2.1 综合指数法

表 3-2 250205<sup>±</sup>工作面采矿地质条件确定冲击矿压危险等级

序号	因素	冲击矿压危险状态影响因素	$W_i$
1	$W_1$	5层煤中多次发生过冲击矿压	3
2	$W_2$	开采深度为 450-462m	0
3	$W_3$	顶板中坚硬厚岩层距煤层的距离 $<50\text{m}$	3
4	$W_4$	开采区域内构造应力集中	2
5	$W_5$	顶板岩层厚度特征参数 $L_{st}>50$	2
6	$W_6$	煤的抗压强度 $R_c>16\text{MPa}$	2
7	$W_7$	煤的冲击能量指数 $W_{ET}>5$	4
8		$W_{t1}$	0.84



## 2.1 综合指数法

250205<sup>上</sup>工作面两条顺槽的开采技术条件对冲击危险的影响，指数见下表(表中A、B、C表示回风顺槽前940m，940~1550m和后550m范围，D、E、F为运输顺槽前500m，500~1500m和后600m范围，G为工作面)。

表 3-3 250205<sup>上</sup>工作面开采技术条件影响冲击矿压危险状态的因素及指数

序号	因素	冲击矿压危险状态影响因素	A	B	C	D	E	F	G
1	$W_1$	未卸压的厚煤层留顶或底煤	3	3	3	3	3	3	3
2	$W_2$	采面接近煤柱的距离小于 50m	0	0	0	0	0	0	0
3	$W_3$	接近煤层倾角剧烈变化的褶 曲距离小于 50m	2	0	0	2	2	0	0
4	$W_4$	采空区处理方式采用垮落法	0	0	0	0	0	0	0
5	$W_5$	未卸压一次采全高的煤厚	3	3	3	3	3	3	3
6		$W_{12} = \sum W_i / \sum W_{imax}$	0.73	0.55	0.55	0.73	0.73	0.55	0.55



## 2.2 多因素耦合法

- ◆ 分析多个冲击矿压影响因素的叠加影响作用，详细确定不同开采地段所具有的不同冲击矿压危险等级，用于指导冲击矿压危险预测、监测和治理工作。
- ◆ 这种方法是首先判断开采区域是否具有冲击矿压危险。若该区域具有冲击矿压危险，则使用多因素影响程度叠加法对区域内各个地段进行分区分级预测。
- ◆ 主要是分析影响地段冲击地压危险的因素，根据各地段的实际情况对各个因素进行危险等级划分，叠加各个因素的危险等级，用于指导“分类防治”。



## 2.2 多因素耦合法

No.	Index	Factor Description	regionalism
1	W <sub>1</sub>	落差大于3m、小于10m的断层区域	前后 20m
			前后 20-50m
2	W <sub>2</sub>	倾角变化(>15°)褶曲区域	前后 10m
3	W <sub>3</sub>	煤层侵蚀、合层或厚度变化区域	前后 10m
			前后 10-20m
4	W <sub>4</sub>	顶底板岩性变化区域	前后 50m
			前后 50-100m
5	W <sub>5</sub>	上保护层开采遗留的煤柱下方区域	煤柱下方及距煤柱水平距离 30m
			距煤柱水平距离 30-60m
6	W <sub>6</sub>	落差大于10m的断层或断层群区域	距离断层 30m
			距离断层 30-50m
7	W <sub>7</sub>	向采空区推进的工作面	接近采空区 50m
			接近采空区 50-100m
			接近采空区 100-200m
8	W <sub>8</sub>	不规则采面或多个采面开切眼、停采线不齐区域	拐角煤柱前后 20m
9	W <sub>9</sub>	巷道交叉区域	“四角”交叉前后 20m
			“三角”交叉前后 20m
10	W <sub>10</sub>	沿空巷道煤柱	区段煤柱宽 6m<D<10m
			区段煤柱宽 10m≤D≤30m
			区段煤柱宽 30m<D≤50m

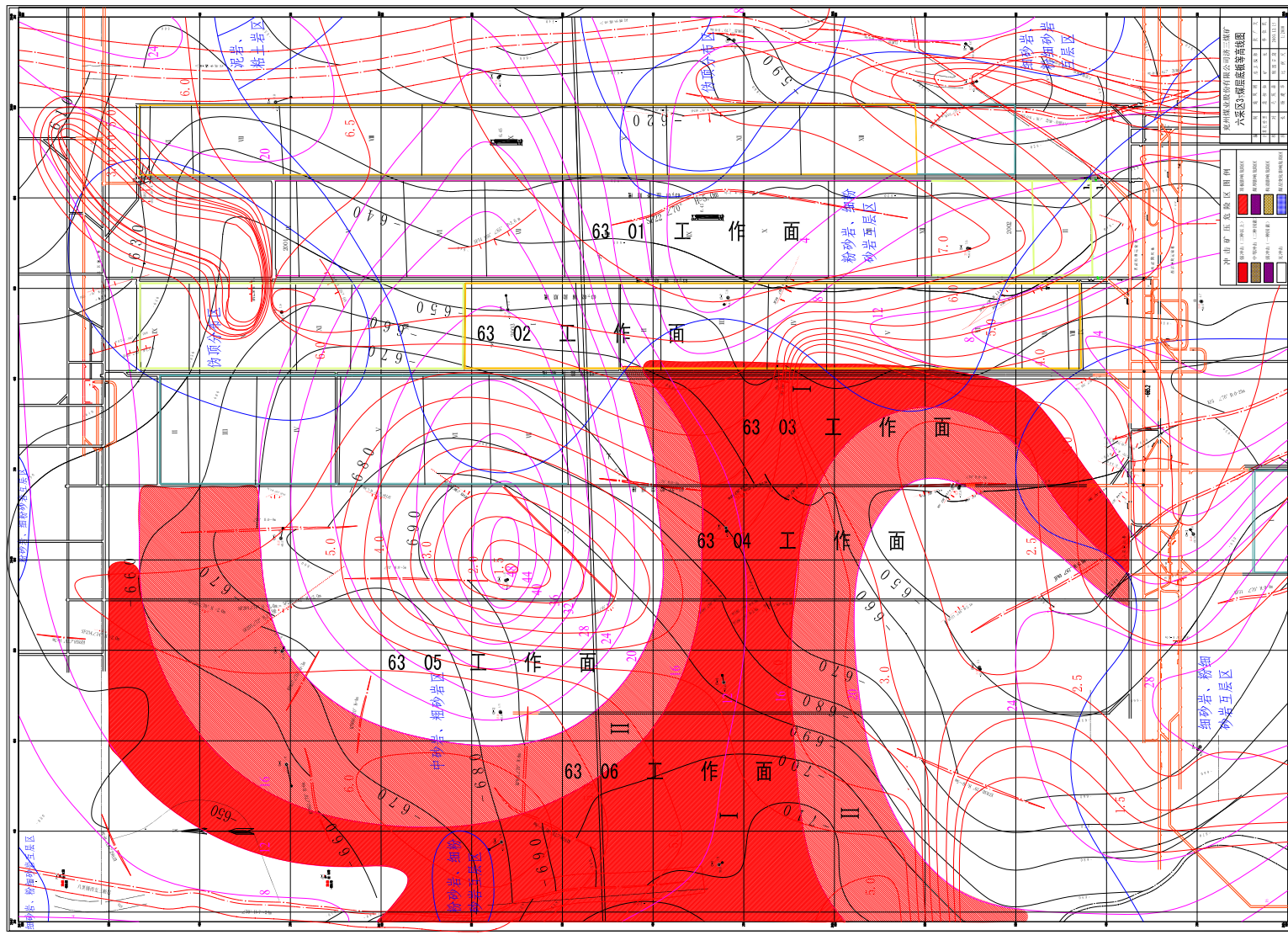


## 2.2 多因素耦合法

No.	Index	Factor Description	regionalism
11	$W_{11}$	工作面超前支承压力区	工作面煤壁超前50m
			工作面煤壁超前50 ~100m
			工作面煤壁超前100 ~150m
12	$W_{12}$	老顶初次来压	前后20m
13	$W_{13}$	工作面采空区“见方”区域	单工作面初次“见方”前后50m
			多工作面初次“见方”前后50m
			单或多采面周期“见方”前后20m
14	$W_{14}$	留底煤区域	底煤厚度 $0m < M \leq 1m$
			底煤厚度 $1m < M \leq 2m$
			底煤厚度 $> 2m$
15	$W_{15}$	采掘扰动区域	—

# 按顶板厚度确定冲击危险区

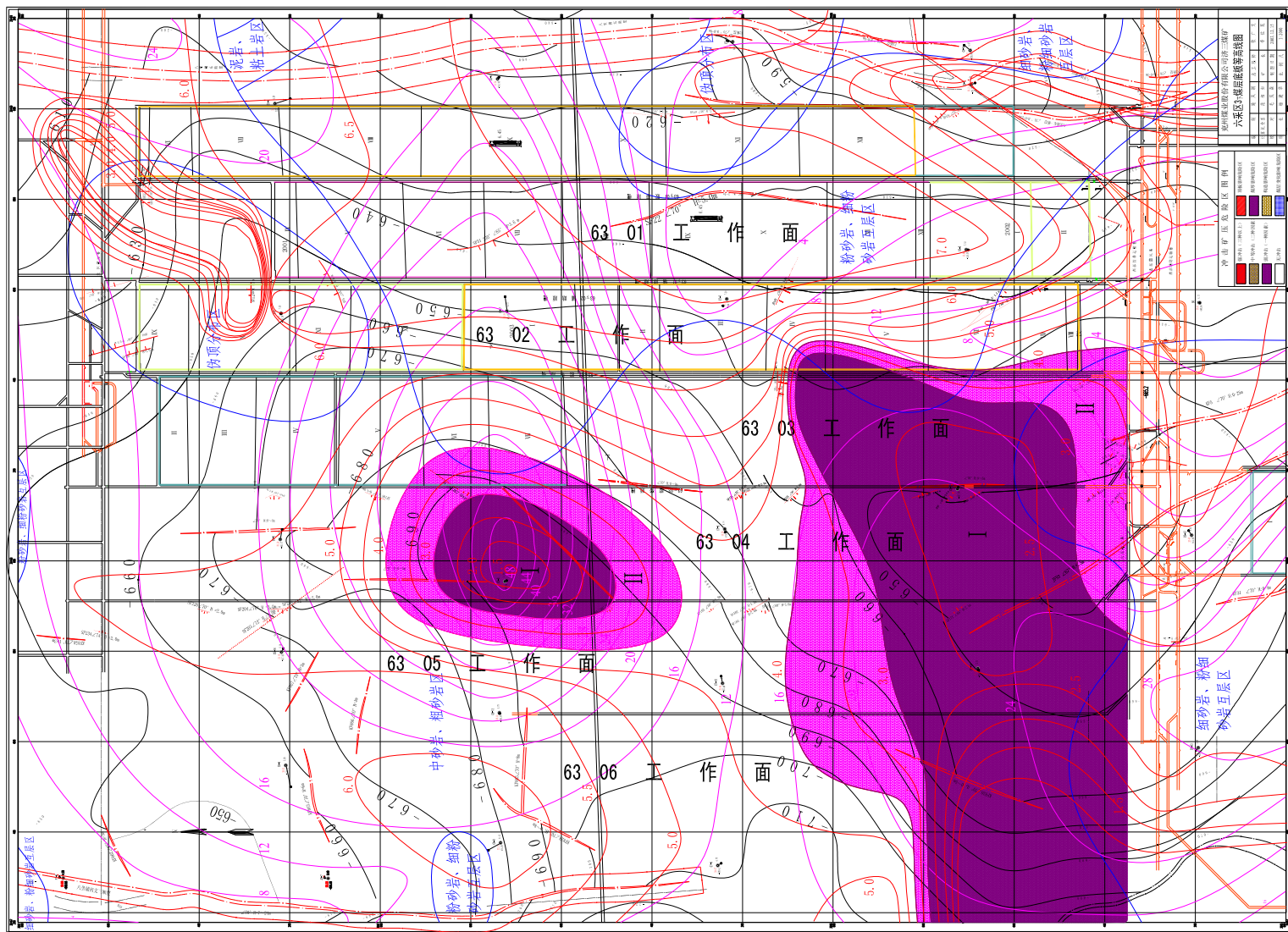
## 济三煤矿六采区冲击矿压危险区域分布





# 按煤层厚度确定冲击危险区

## 济三煤矿六采区冲击矿压危险区域分布



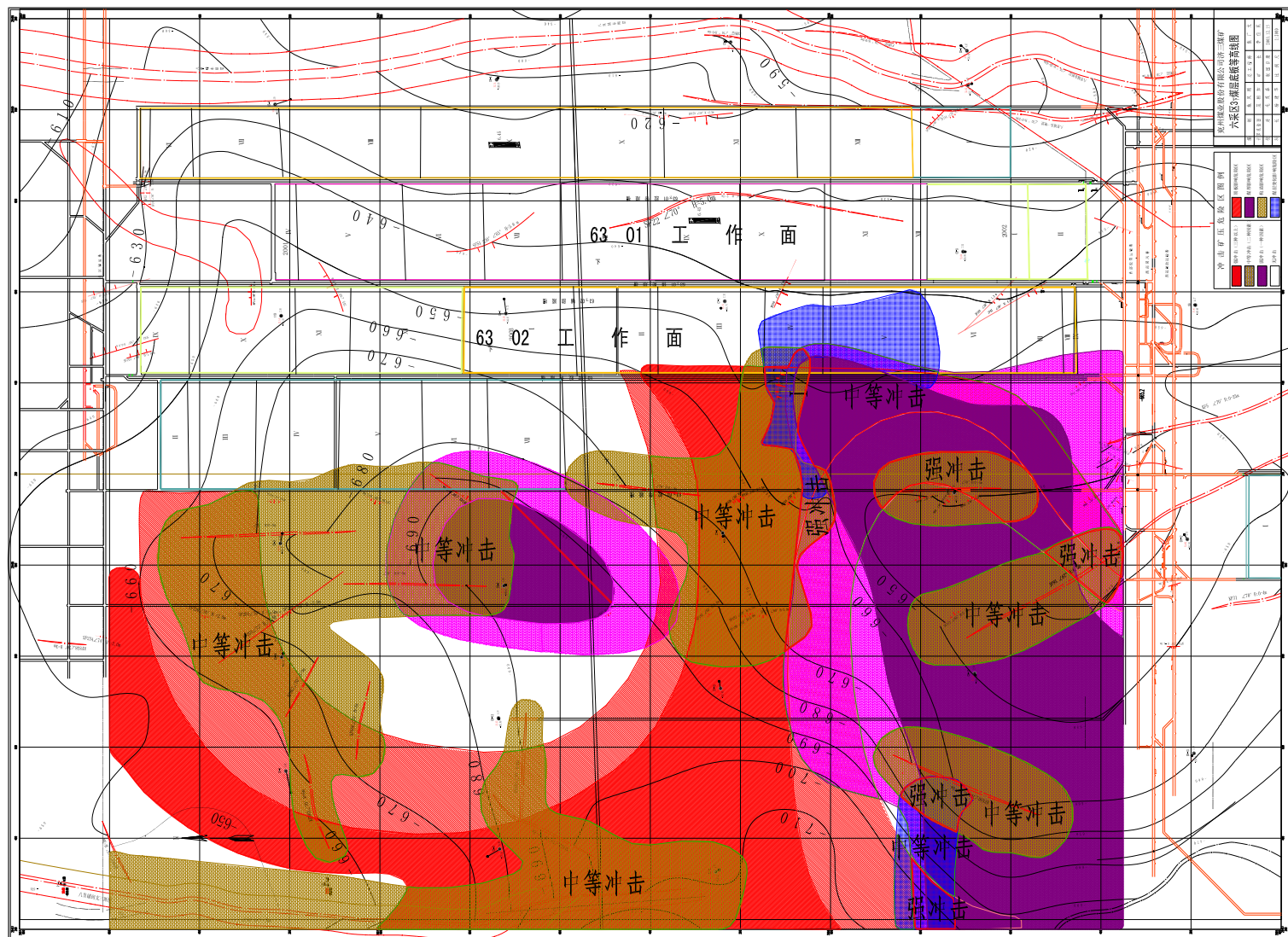






# 按多因素耦合确定冲击危险区

## 济三煤矿六采区冲击矿压危险区域分布

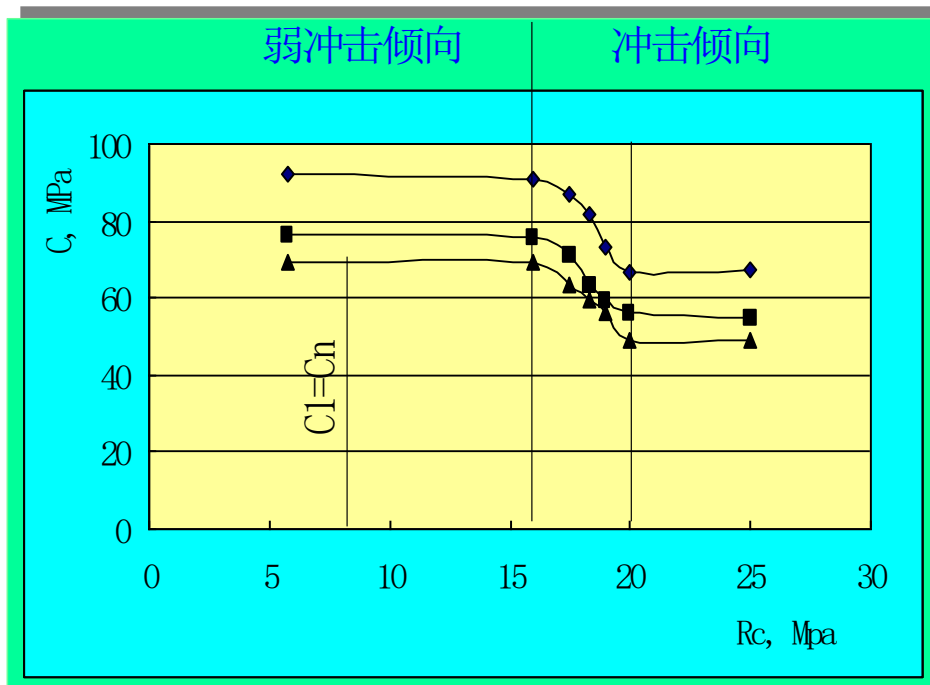




## 2.3 应力分析法——应力分析与模拟

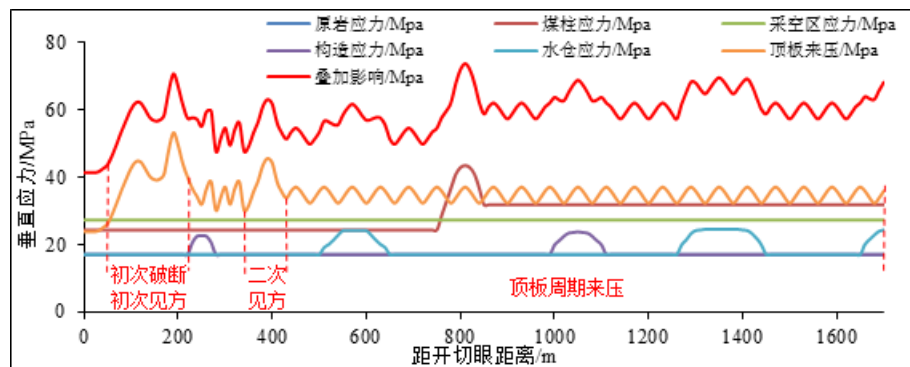
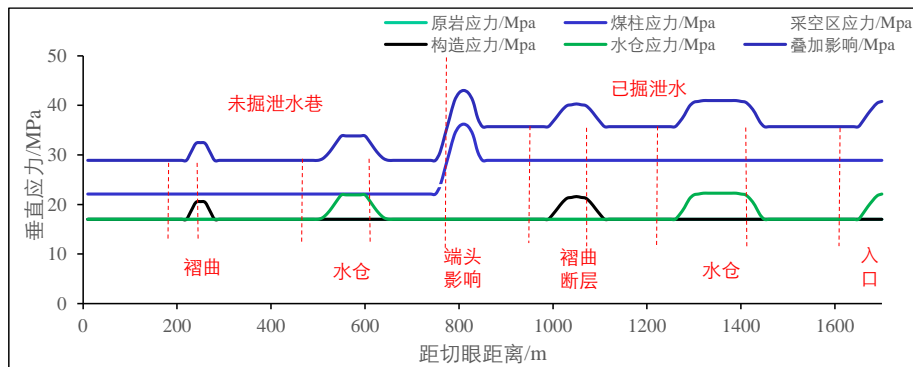
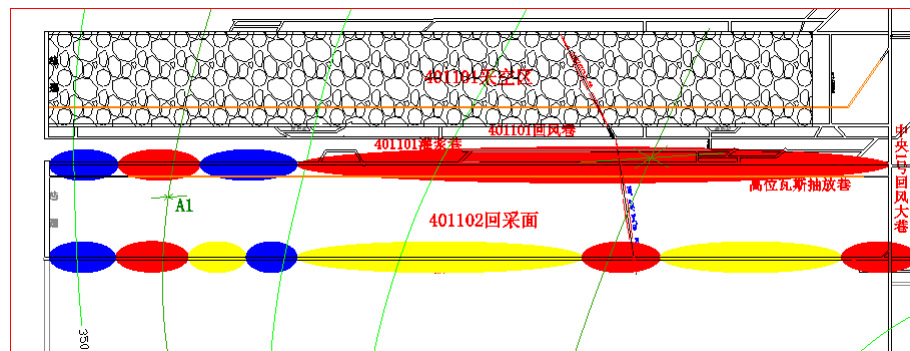
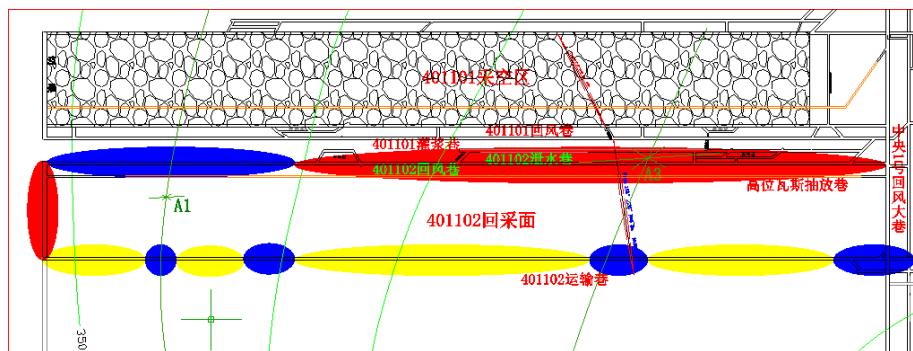
### □ 发生冲击矿压的最小载荷

- $R_C > 20\text{MPa}$ , 最小应力为50MPa;
- $R_C < 16\text{MPa}$ , 最小应力为70MPa;
- $R_C = 16 \sim 20\text{MPa}$ 时, 最小应力为50~70MPa。



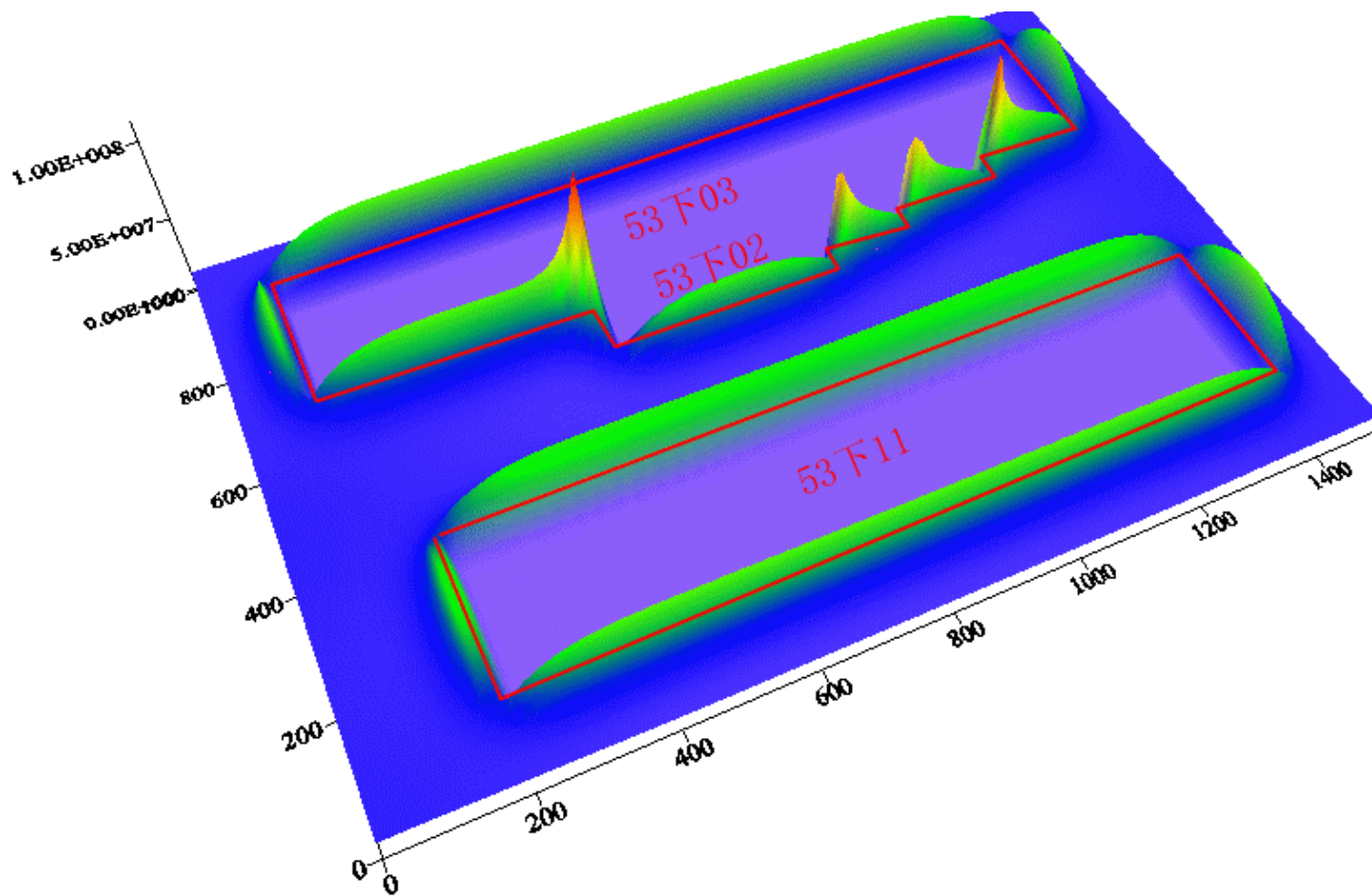
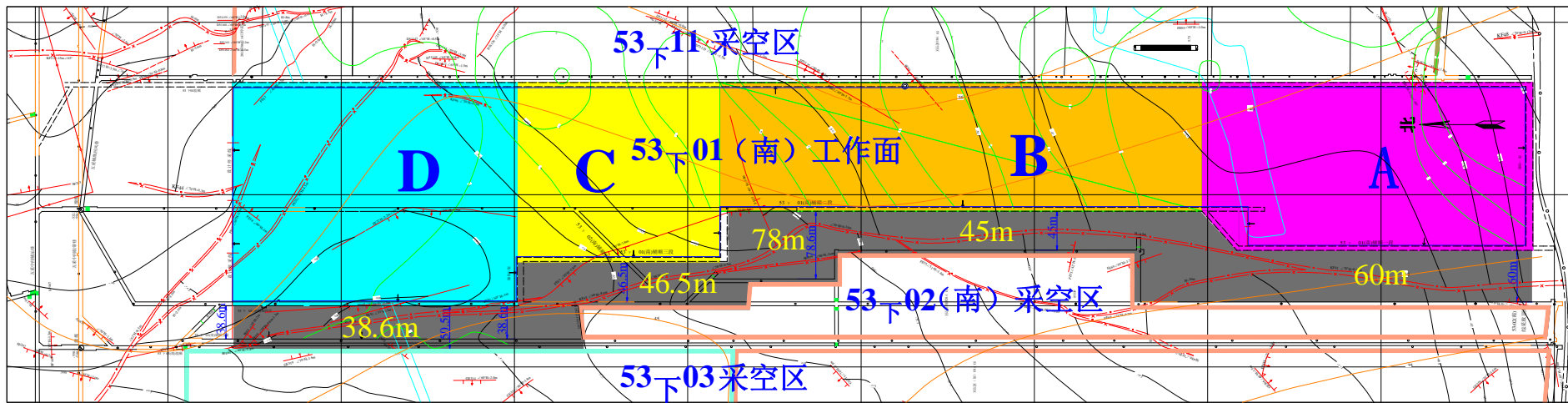
# 2.3 应力分析法——应力分析与模拟

## 某矿冲击地压主控因素与应力叠加法



掘进期间主控因素及应力叠加法

回采期间主控因素及应力叠加法



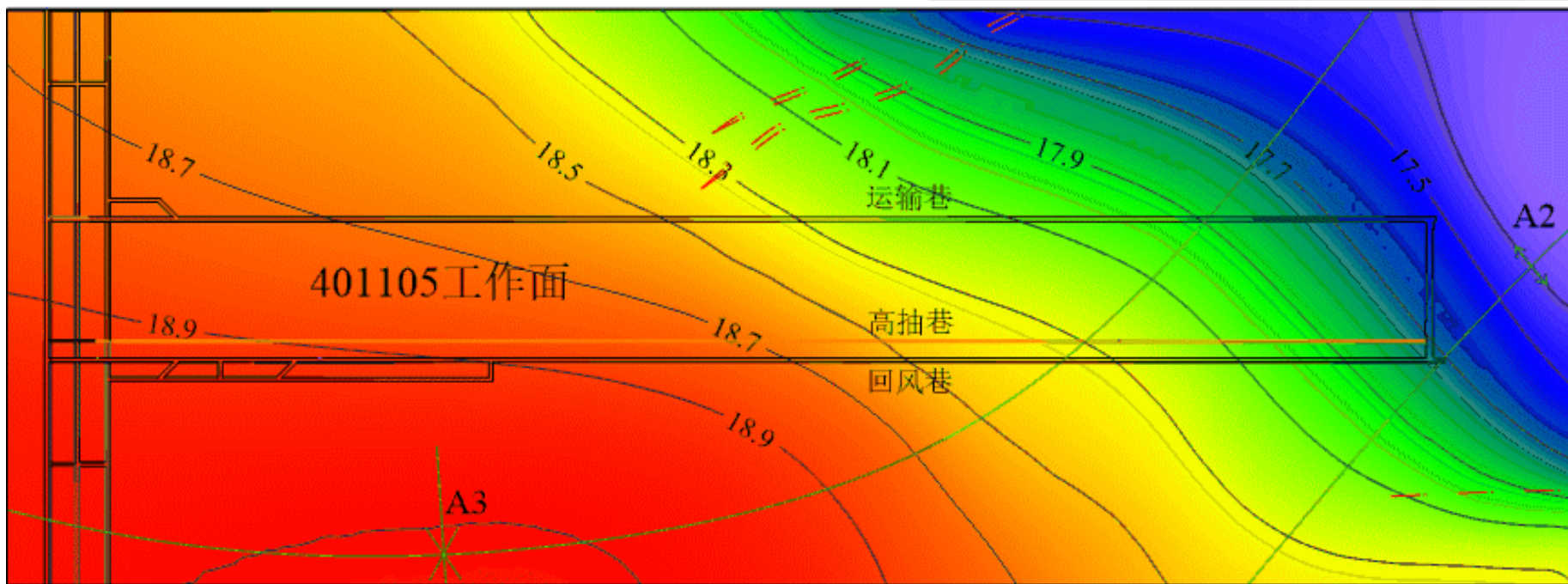




## 2.3 应力分析法——应力分析与模拟

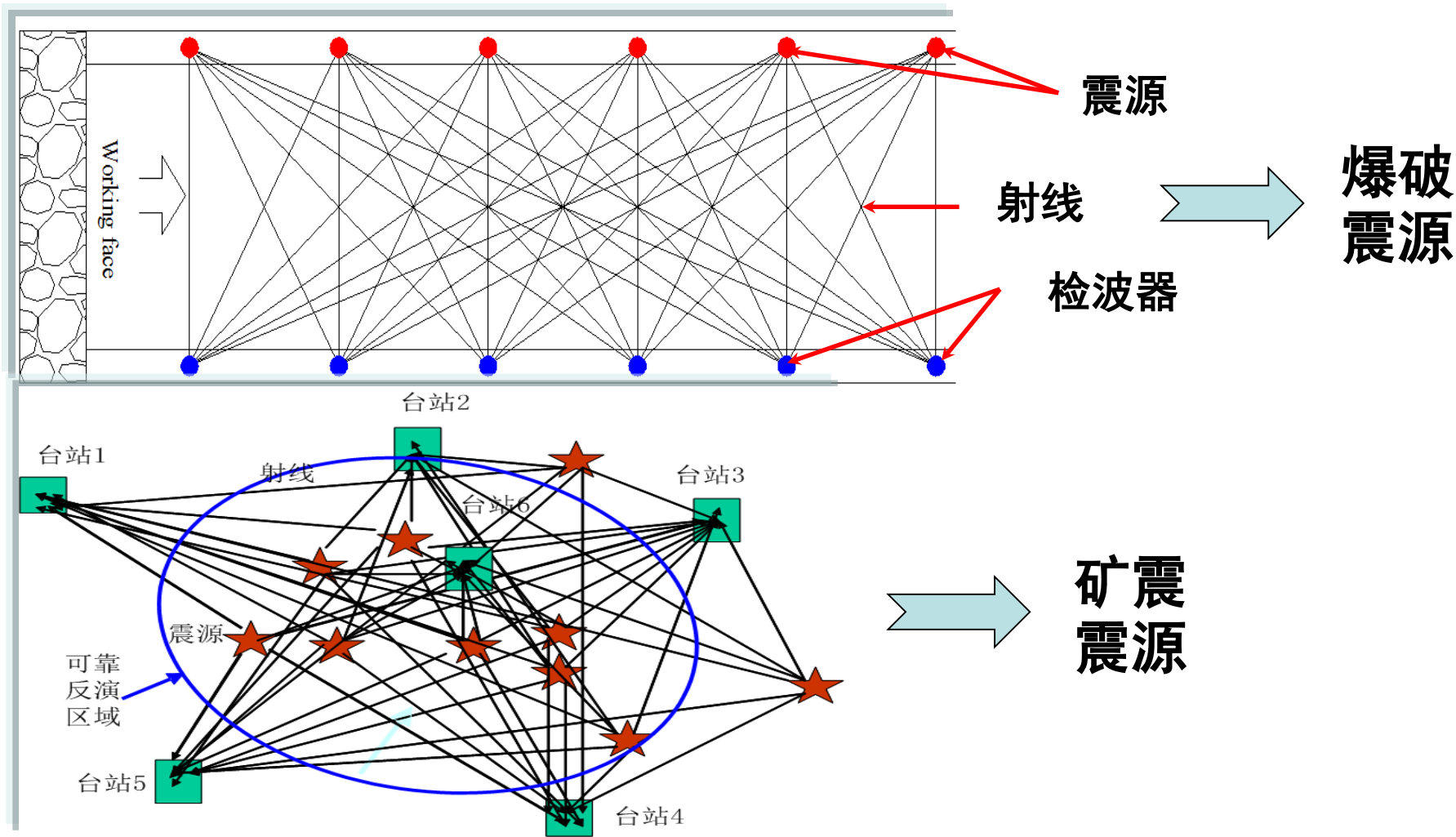
原岩应力

应力: MPa 19.0 18.8 18.6 18.4 18.2 18.0 17.8 17.6 17.4 17.2



## 2.3 应力分析法——应力探测与反演

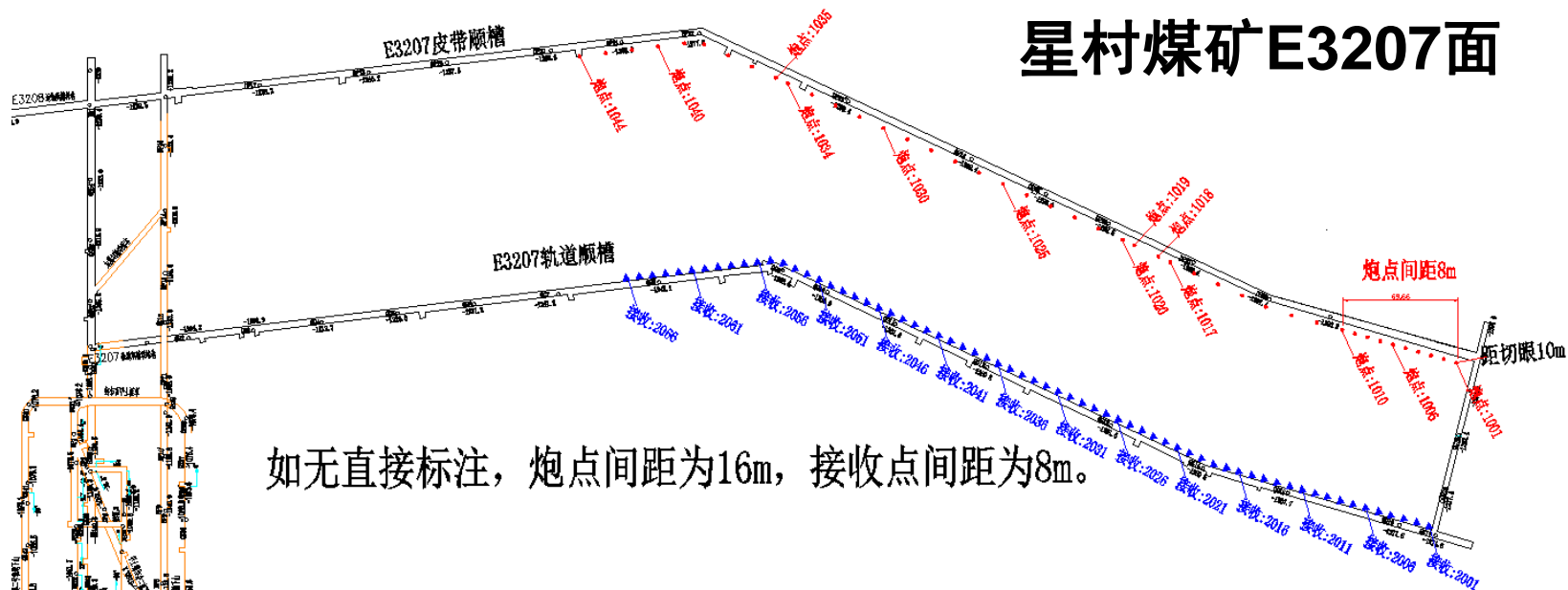
### □ 震动波CT——主动、被动



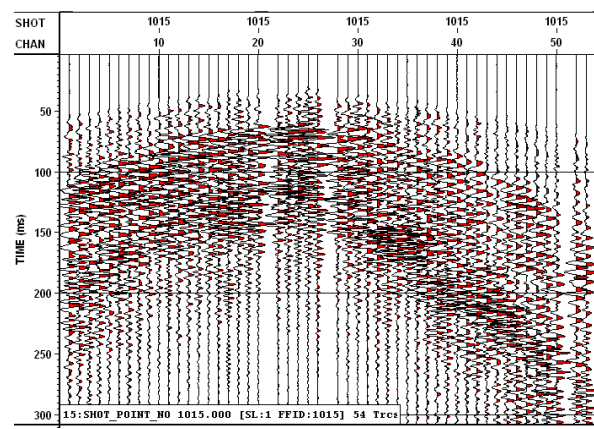
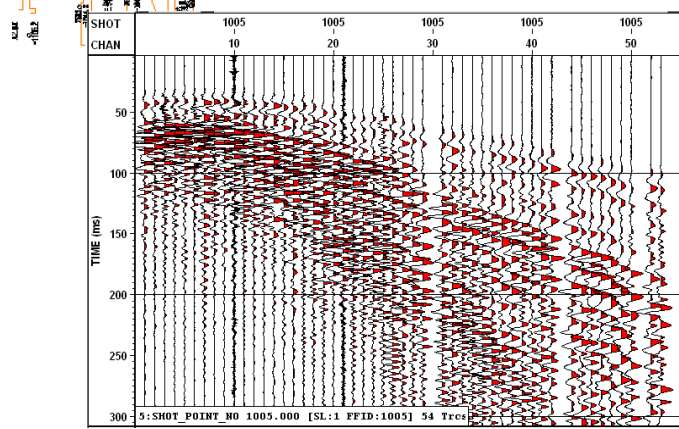
# 2.3 应力分析法——应力探测与反演

## ◆ 煤层弹性波CT透视技术

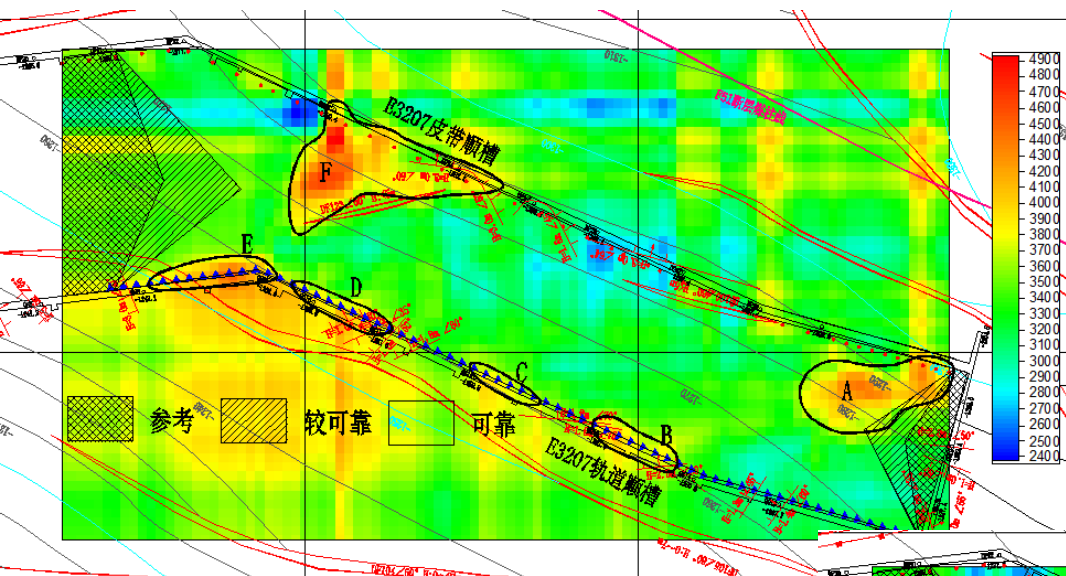
### 星村煤矿E3207面



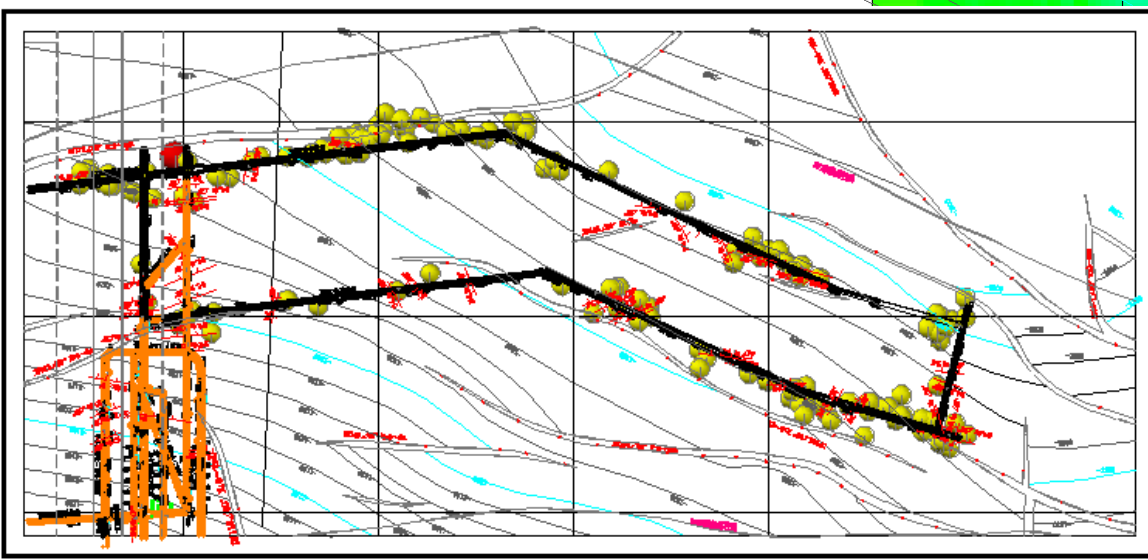
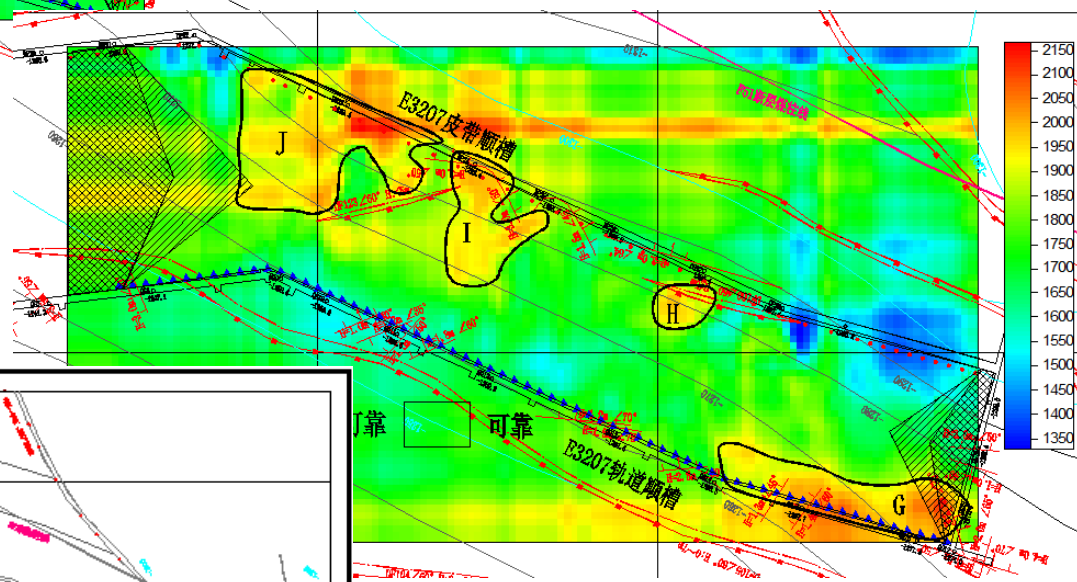
如无直接标注，炮点间距为16m，接收点间距为8m。



# P波分布



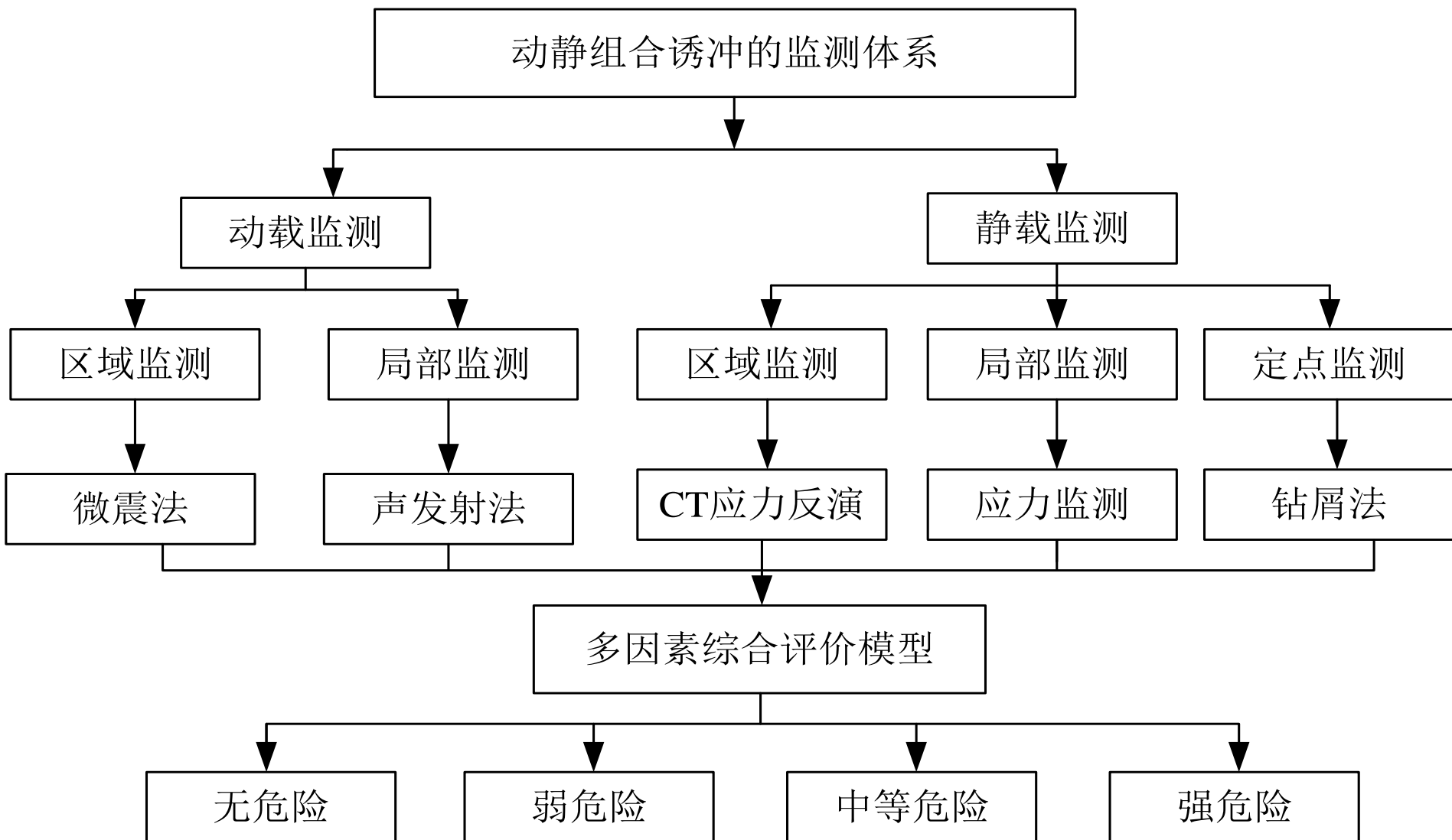
# S波分布







# 3 冲击危险监测预警技术





# 3.1 钻屑法

## □ 定义与概念

- 通过在煤层中打直径42mm的钻孔，根据排出的煤粉量及其变化规律和有关动力效应，鉴别冲击危险的一种方法。
- 动力效应：卡钻、吸钻、顶钻、声响及孔内冲击等现象。
- 钻粉率指数：在打钻过程中，每米实际煤粉量与每米正常煤粉量的比值。

## □ 仪器设备

- 煤电钻机或风电钻机，钻杆长度1m，成孔直径为42 mm的钻头。
- 取粉桶、细眼筛（筛眼直径3mm）、量具。

## □ 不适用情况

- 当煤层含水率超过3.5%；单轴抗压强度小于2MPa的松软煤层。



# 3.1 钻屑法

## □ 技术要求

- **正常煤粉量：**超前工作面100m以外，远离采空区和地质构造带；
- **深度：**3~4倍巷高，薄煤层监测深度一般不小于为7.0m；
- **位置：**距离底板0.5 ~1.5m.
- **间距：**工作面内10~50m；两巷10~30m，超前工作面10 ~100m；掘进：10~30m，迎头后方5~60m;迎头：2~3个；
- **频率：** **监测：** 个数应不少于3个，间隔时间为1~3个工作循环； **检验：** 根据危险等级与危险区域确定。

## □ 特殊情况

- 若打钻过程中出水，煤粉湿润无法排出，应在该钻孔旁无水区域补打钻孔，出水钻孔钻屑量仅做参考



# 3.1 钻屑法

## □ 预警指标

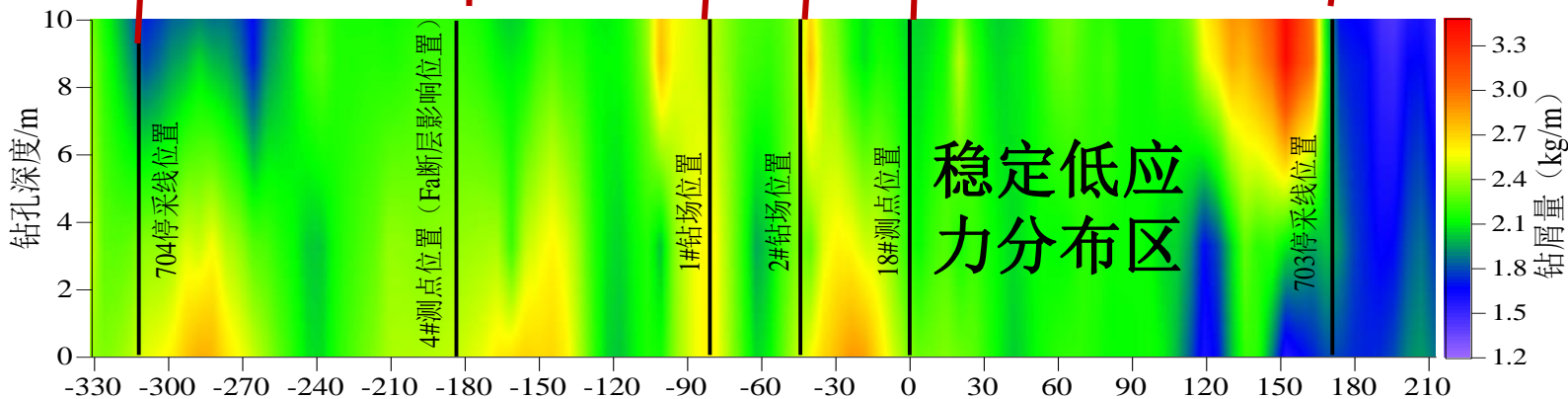
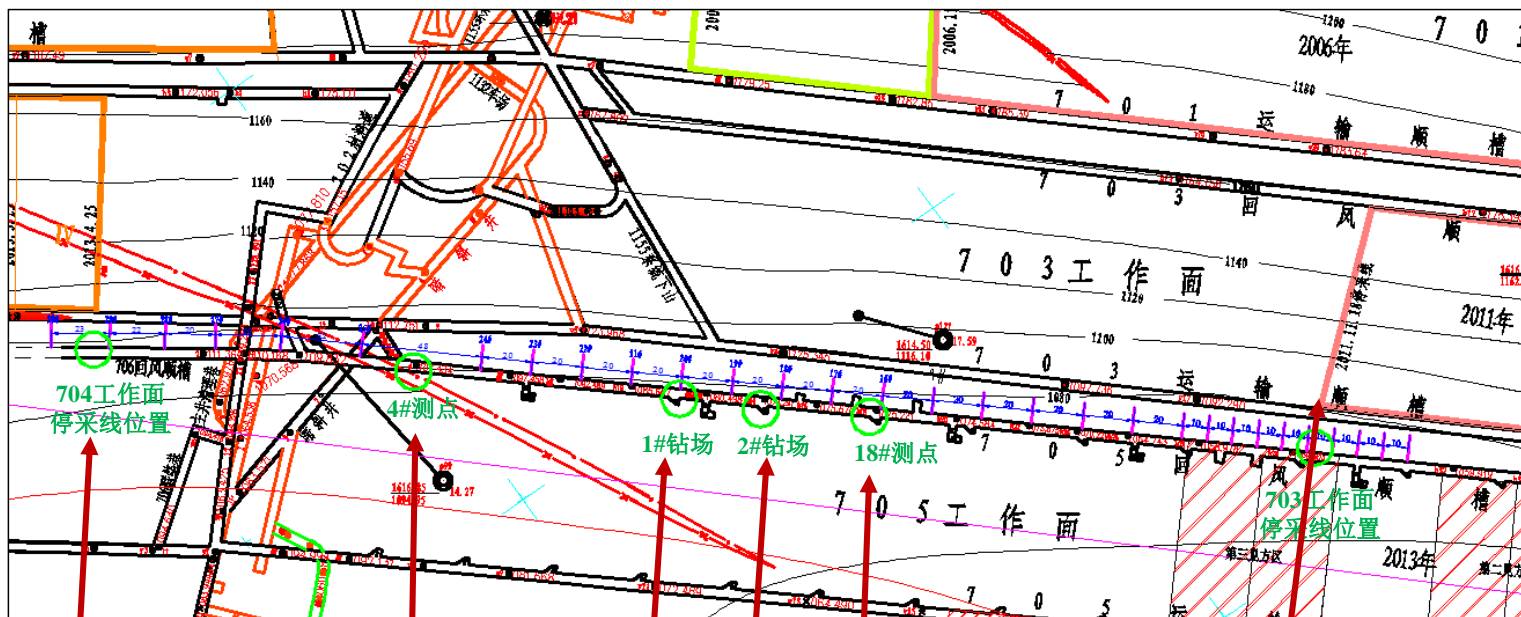
孔深巷高比	1.5	1.5~3	3
钻粉率指数	$\geq 1.5$	2~3	$\geq 3$

冲击危险等级 钻屑粒度	无	弱	中	强
大于3mm的组分/%	$< 10$	$10 \leq a < 20$	$20 \leq a < 30$	$30 \leq a < 40$

冲击危险等级 动力效应	无	弱	中	强
卡钻、顶钻、吸钻、 声响、孔内冲击	无动力现象	出现顶钻，不 影响正常钻进	出现顶钻、吸 钻、声响，钻 进过程较为困 难	出现钻杆卡死、 孔内冲击，无 法达到规定钻 进深度

# 3.1 钻屑法

## 扩展普查



距18#测点距离/m (负值表示18#测点往705工作面外, 正值表示18#测点往705工作面内)



## 3.2 应力监测——采动应力监测

### □ 仪器要求

- 远距离、实时传输，采样时间间隔不大于5min，量程不小于30MPa，精度不大于0.1MPa；
- 自动存储时间不小于8h，线路恢复后，能自动上传；
- 传感器应与煤体刚度匹配。

### □ 技术要求

- **深度**：至应力峰值区，浅部监测点深度一般位于 $h$ （巷高） $\sim 2h$ 之间，深部监测点深度一般位于 $2h \sim 3h$ ；塑性区大时，加大深度。
- **间距**：组内不大于2m；组间不大于30m，强冲击不大于20m。
- **时间**：掘进巷道应力传感器滞后迎头距离不大于50m；
- 受巷道掘进扰动影响的，在距离掘进迎头150m前完成；
- 受工作面回采扰动影响的，距离工作面300m前完成。

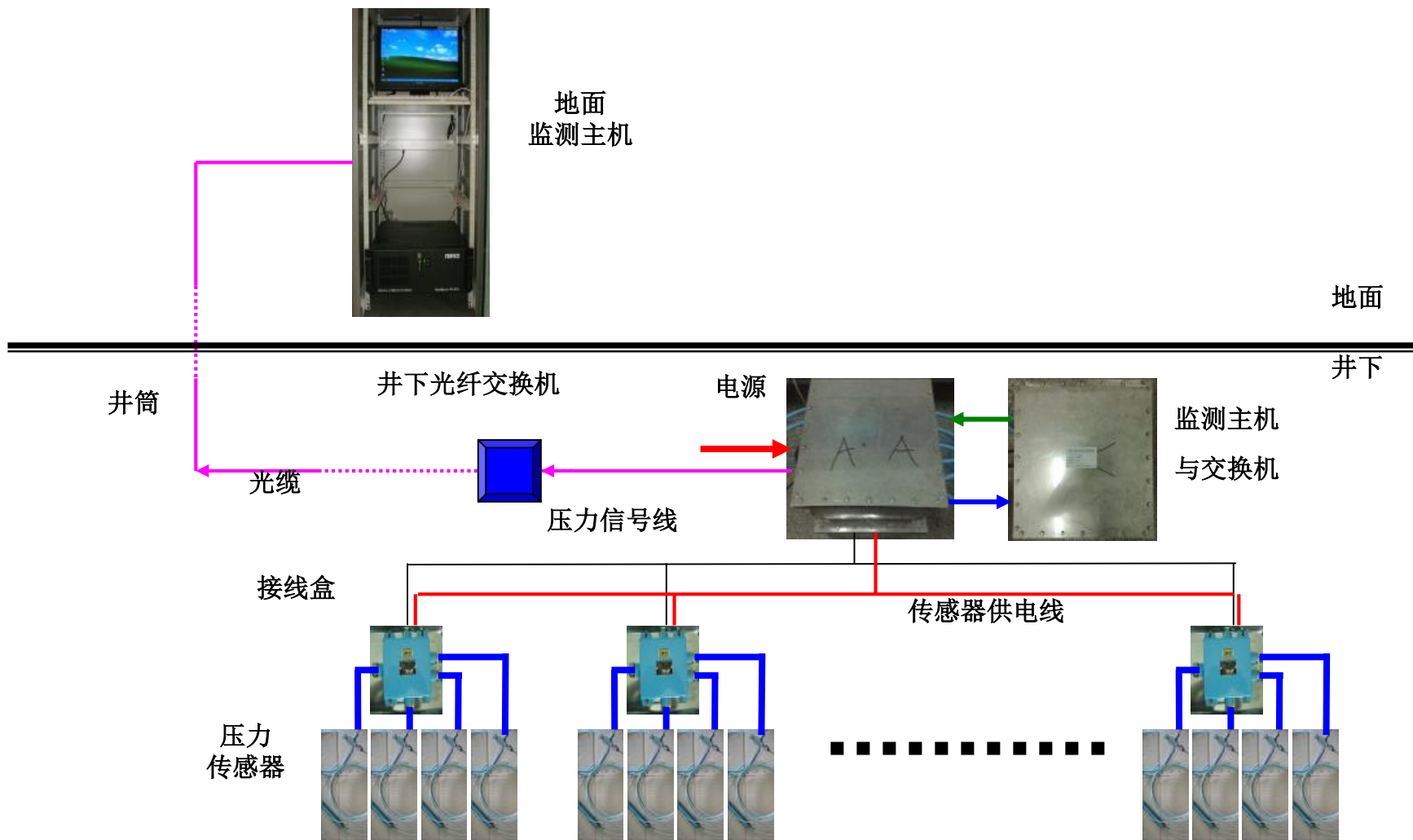


# 3.2 应力监测——采动应力监测

## 预警指标

指标 危险等级		无		弱		中等		强	
		浅部	深部	浅部	深部	浅部	深部	浅部	深部
应力大小	$\sigma$ (MPa)	<8	<10	$8 \leq <12$	$10 \leq <14$	$12 \leq <16$	$14 \leq <18$	$\geq 16$	$\geq 18$
应力梯度	$V_\sigma$ (MPa/d)	<1	<1.5	$1 \leq <1.5$	$1.5 \leq <2$	$1.5 \leq <2$	$2 \leq <2.5$	$\geq 2$	$\geq 2.5$
备注	适用于可感知垂直方向应力变化的油压枕式应力传感器，初压为5.0。								

# 3.2 应力监测——应力在线







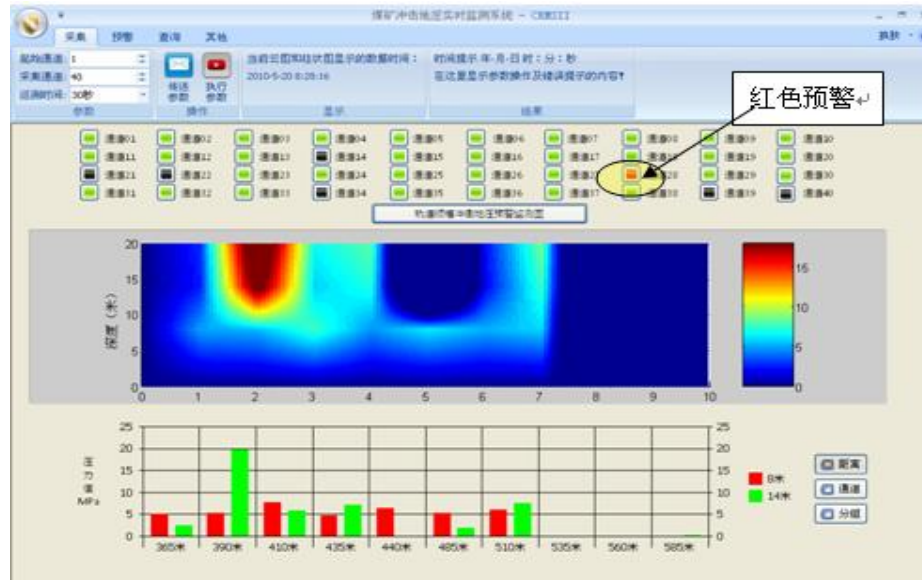
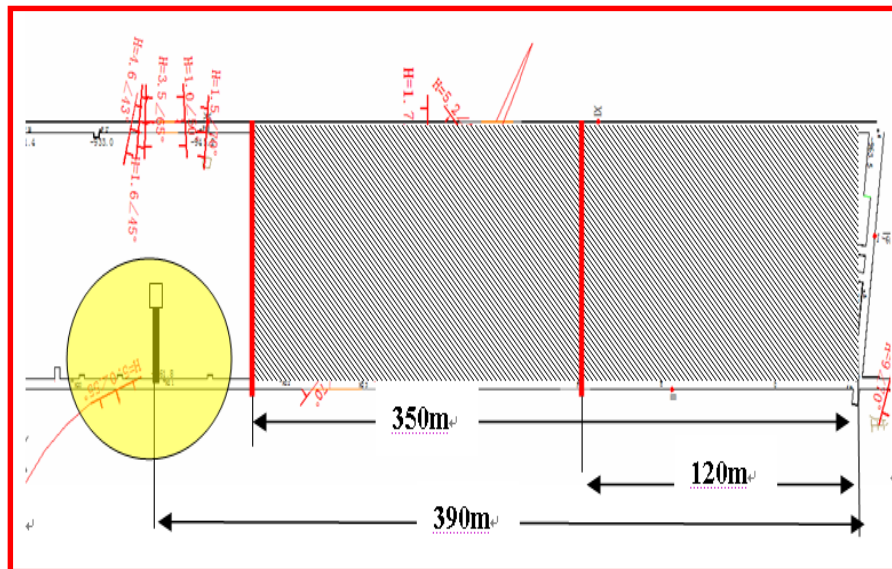
## 3.2 应力监测——应力在线

### □ 临界值确定

测点深度	预警级别	预警值	危险状态	应力增量
8m	黄色预警	10MPa-14 MPa	无	$<2$
	红色预警	$>14$ MPa	弱	$2 < <4$
14m	黄色预警	12MPa-16MPa	中等	$4 < <6$
	红色预警	$>16$ MPa	强	$>6$

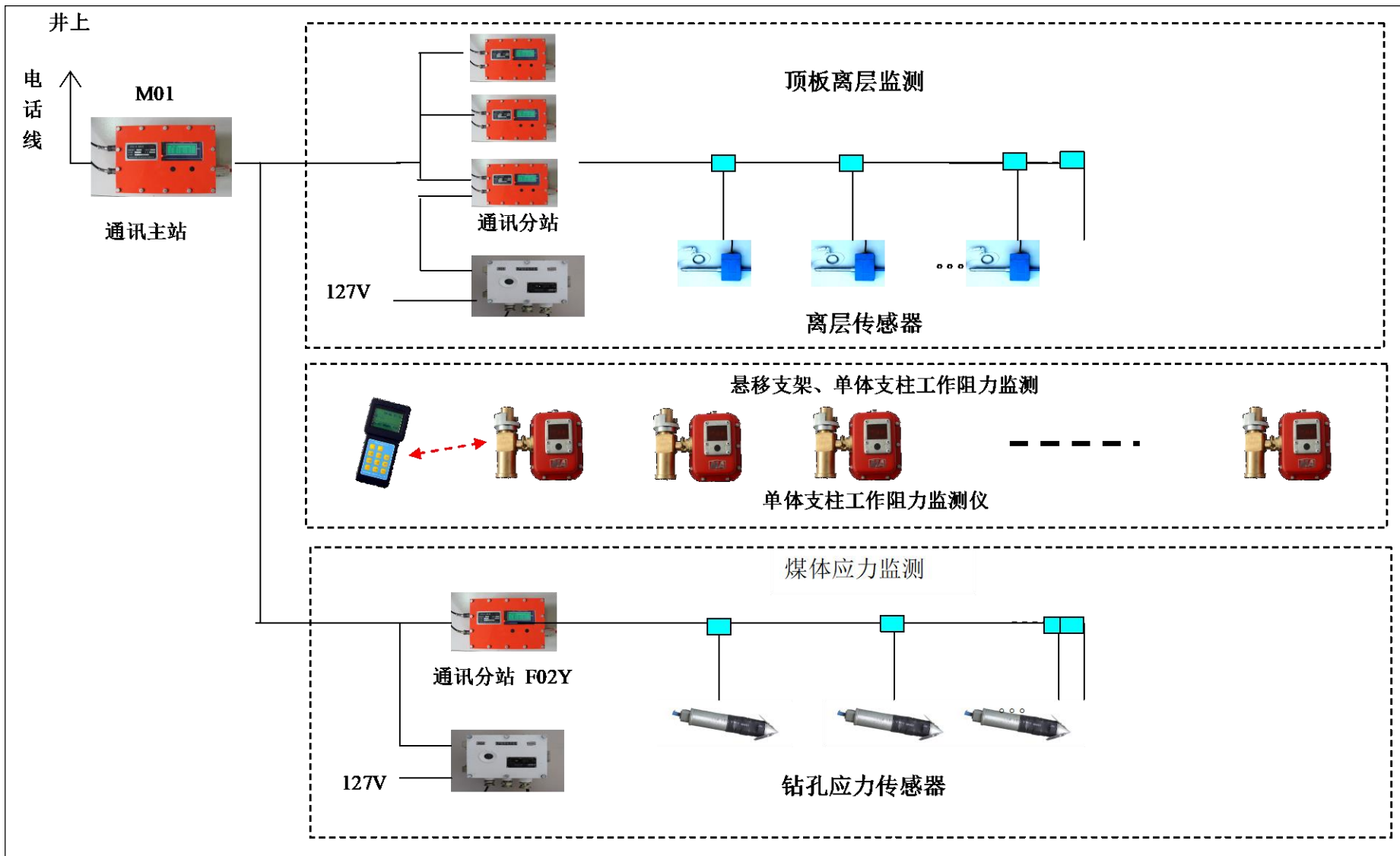
正常生产	强冲击危险的预警
所有观测点的应力监测数据均为 A (无危险)	一组及以上数据为 D (强危险)
一组观测数据为 B (弱危险), 且三天内应力无明显增加	两组及以上数据为 C (中等危险)
一组数据为 C (中等危险), 且一天内应力无明显增加	一组数据为 C (中等危险), 且一天内应力明显增加, 钻屑量超限或动压明显
/	两组及以上数据为 B (弱危险), 且钻屑量超限或动压明显

# 3.2 应力监测——应力在线



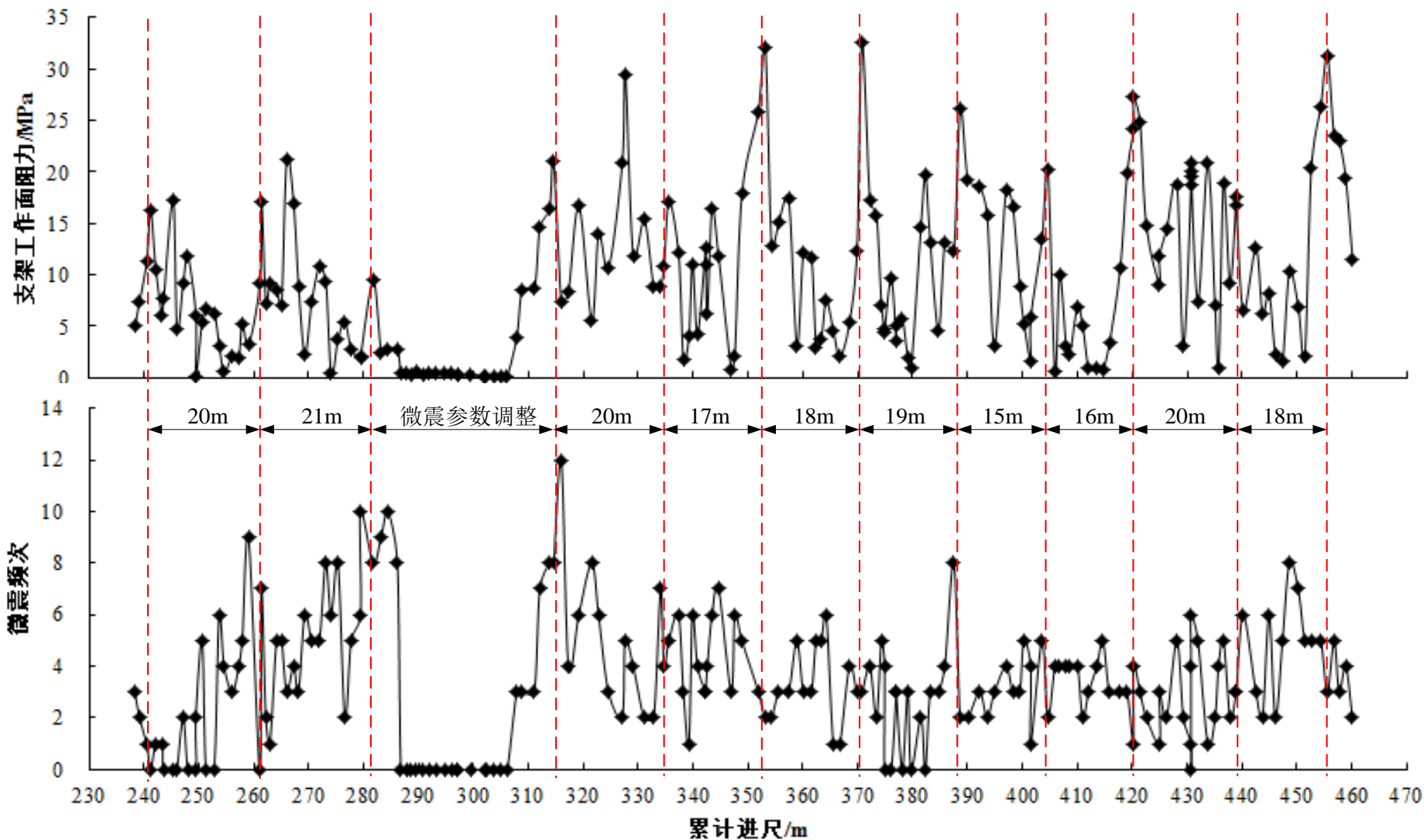
- 2010-3-5工作面累计进尺220m，轨道第四组14m测点（测点距切眼390m，距工作面170m）应力开始升高，2010-3-22工作面累计进尺290m（测点距切眼390m，距工作面100m），测点达到黄色预警，此后随着工作面的推采测点压力不断升高，应力最大值22MPa。
- 2010年5月24日5点30左右工作面累计进尺350m（测点距切眼390m，距工作面40m），发生煤炮，同时监测系统测点应力突然下降，预警解除。

# 3.2 应力监测——矿压（变形）观测法



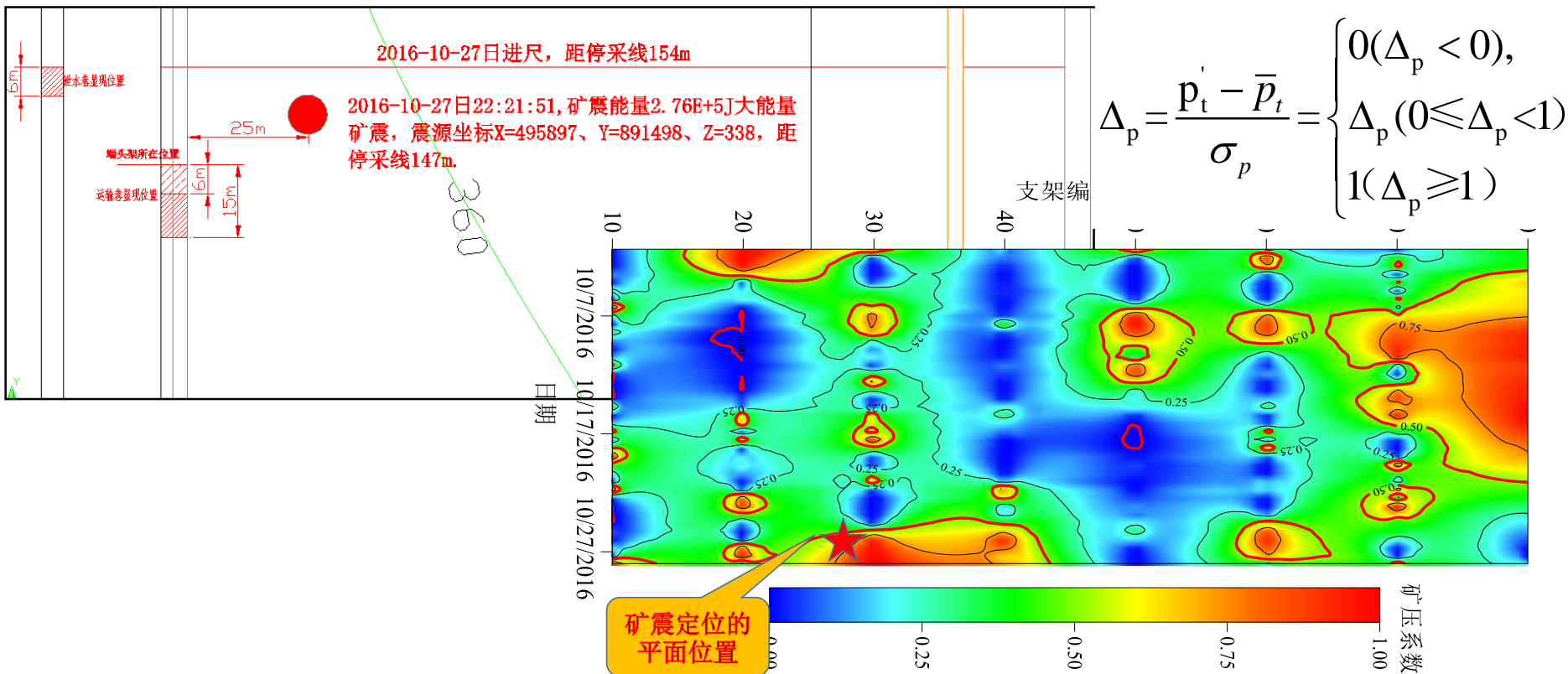


# 3.2 应力监测——矿压（变形）观测法





# 3.2 应力监测——矿压（变形）观测法





## 3.2 应力监测——矿压（变形）观测法

☑某工作面5月17日上午11点14分，在辅顺超前40-60米发生一次冲击事件，震源位于辅顺超前136m，震动能量为 $1.1 \times 10^5 \text{J}$ ，压力表每20架安装一个，其中1#压力表对应20#支架，2#压力表对应40#支架，依次类推，9#圆图仪对应180#支架，全工作面共安装9个压力表，根据工作面圆图仪数据分析如下：

☑1、5月17日上午约11点，工作面4-9#圆图仪同时出现压力突然降低后又突然升高现象，即工作面6个支架圆图仪数据瞬间降低至0后再急剧增加。

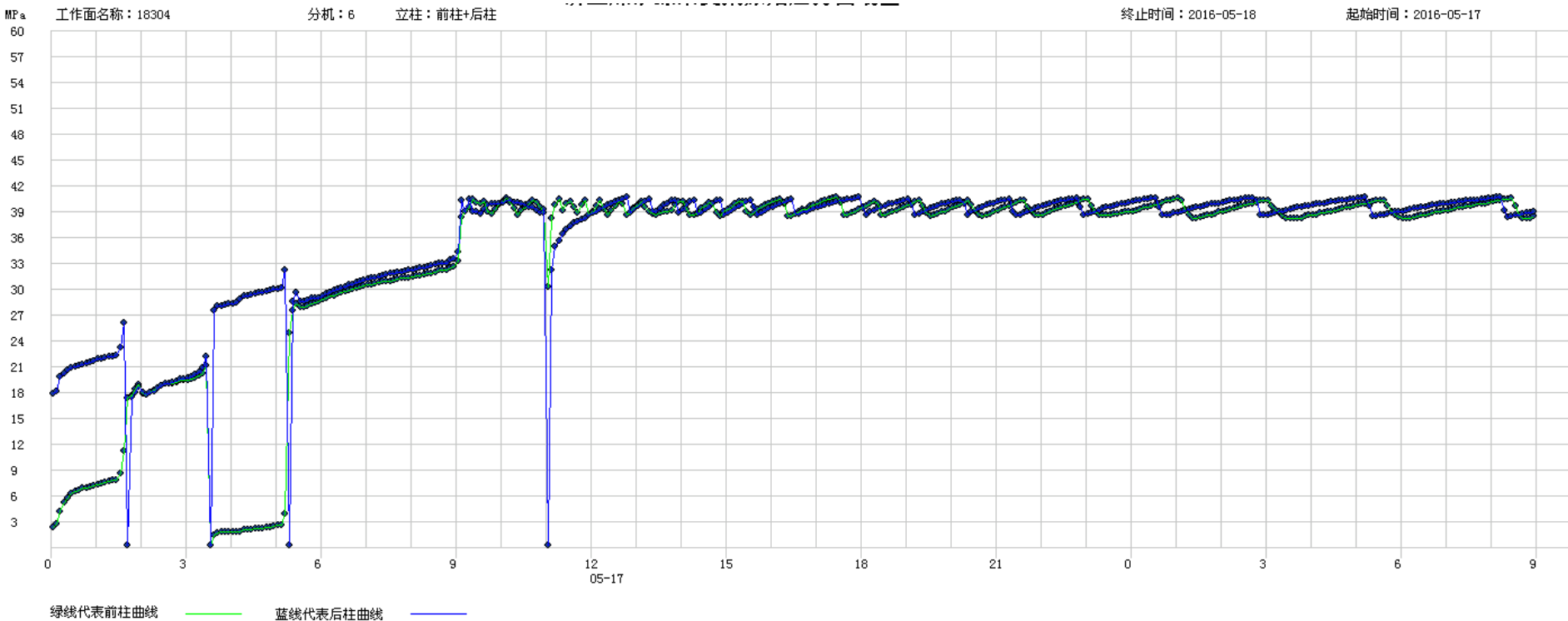
☑2、工作面80#架至机尾范围，受此次冲击影响，顶板出现明显的活动现象。

☑3、此次冲击事件，震源位于辅顺超前136m，根据微震系统定位震源的位置计算，上覆岩层活动半径达320米。

☑4、该工作面基本顶为细砂岩及中砂岩，平均厚度为15.52m，最厚达30.63m，厚层坚硬顶板积聚着大量的弹性能，上覆坚硬顶板积聚的弹性能集中释放是造成这次冲击的主要原因。



# 3.3 矿山压力观测法

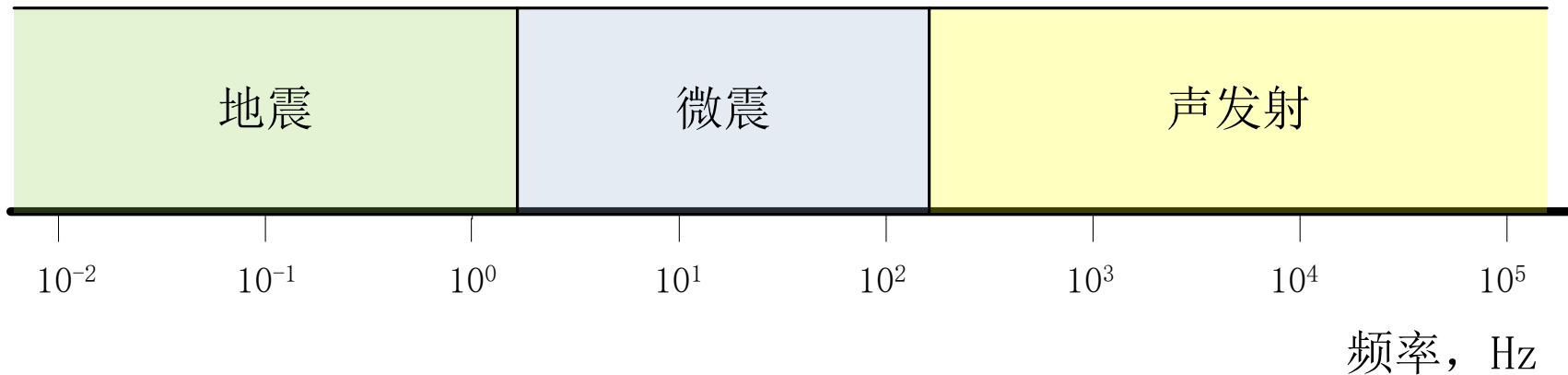




## 3.4 微震监测技术

### □ 定义与概念

- ◆ **微震（现象）**：频率 $0.1 \sim 150\text{Hz}$ ，一般能量大于 $10^2\text{J}$ 的震动；
- ◆ **声发射（地音）**：频率大于 $150\text{Hz}$ ，一般能量小于 $10^2\text{J}$ 的震动；
- ◆ **矿震**：
  - ◆ **广义**：是指就是矿山范围内开采诱发的震动现象；
  - ◆ **狭义**：矿井开采过程中引发地面震动的现象。







## 3.4 微震监测技术

### □ 仪器要求

- **区域监测**：至少覆盖单个采煤工作面的采动影响范围，不小于工作面宽度加500m；
- 至少10Km距离的实时、动态、自动传输、24小时不间断运行；
- 微震传感器的频率响应范围应涵盖**0.1 Hz ~600Hz**；采样率不低于500Hz；
- 具备独立、统一的同步授时模式，系统时间与标准时间偏差不大于 $\pm 8\text{ms}$ 。
- 计算并保存微震发生的时间（准确到秒）、能量和震源的三维空间坐标（X, Y, Z）；
- 震源平面定位误差不大于 $\pm 20\text{m}$ ，垂直定位误差不大于 $\pm 50\text{m}$ ；

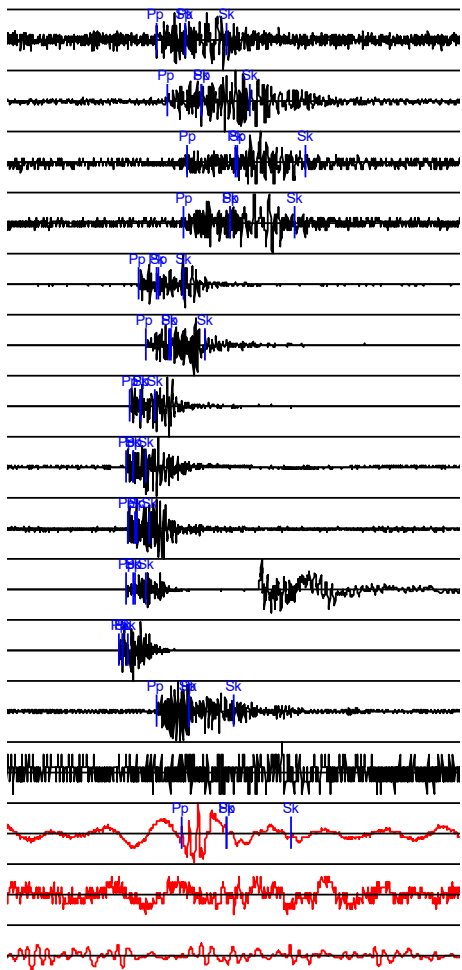


## 3.4 微震监测技术

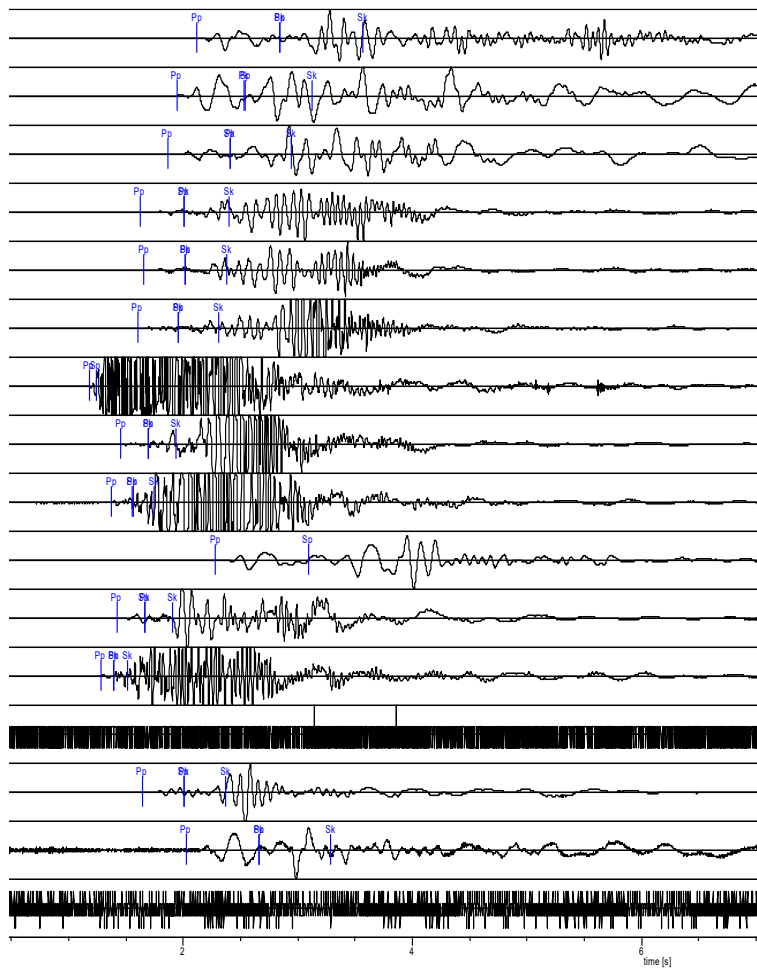
### □ 技术要求

- **台网：**应能覆盖矿井采掘区域与冲击危险区域，至少4个独立通道（单分量：至少4个；三分量：至少2个；或者组合）准确定位。
- **布置：**避免形成直线与二次曲线，尽可能形成空间台网，足够适当的密度；
- **安装：**避开围岩破碎、构造发育、渗水、较强振动干扰、较强电磁干扰等区域，安装基础稳定可靠；
- **校核：**系统校核和微震传感器布置优化一般每两年进行一次，优化后的微震传感器间距一般为200m ~1000m。
- **分析：**震源位置与能量；频次、能量时间序列；震动位置与能量空间分布；震动事件性质等。

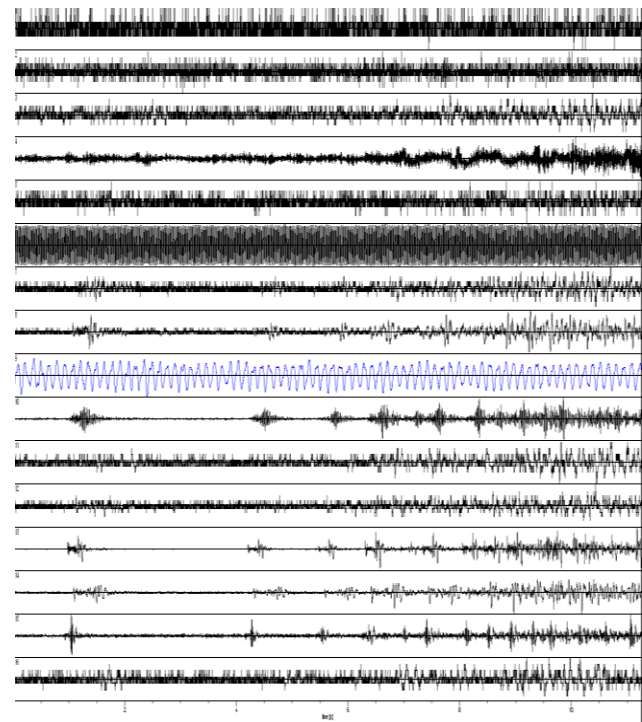
# 3.4 微震监测技术



爆破



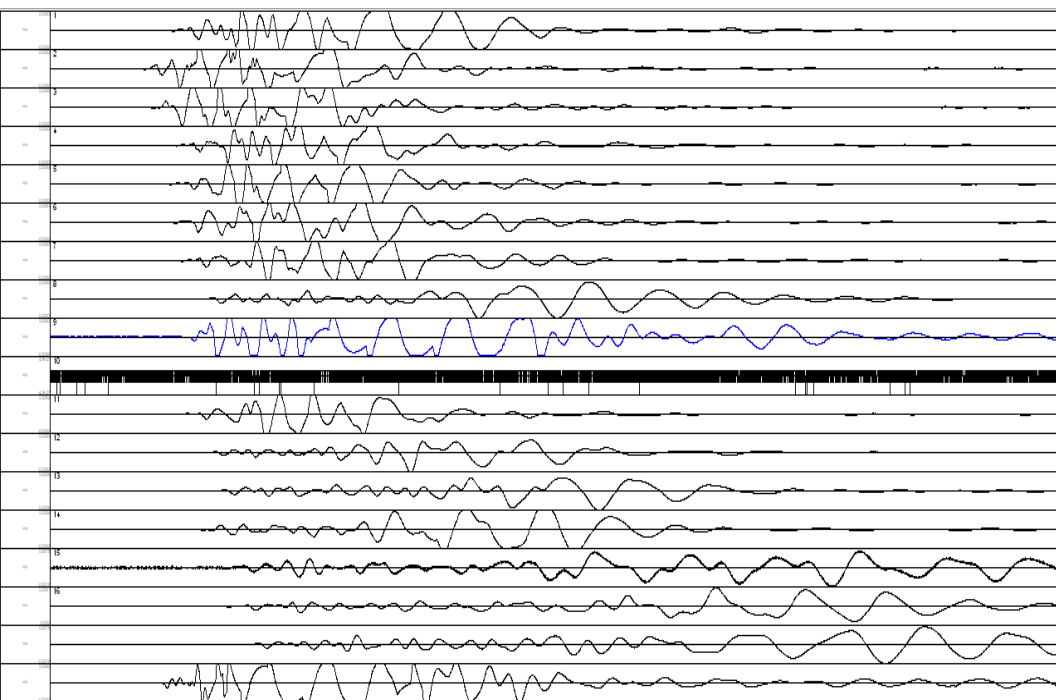
冲击矿压典型信号



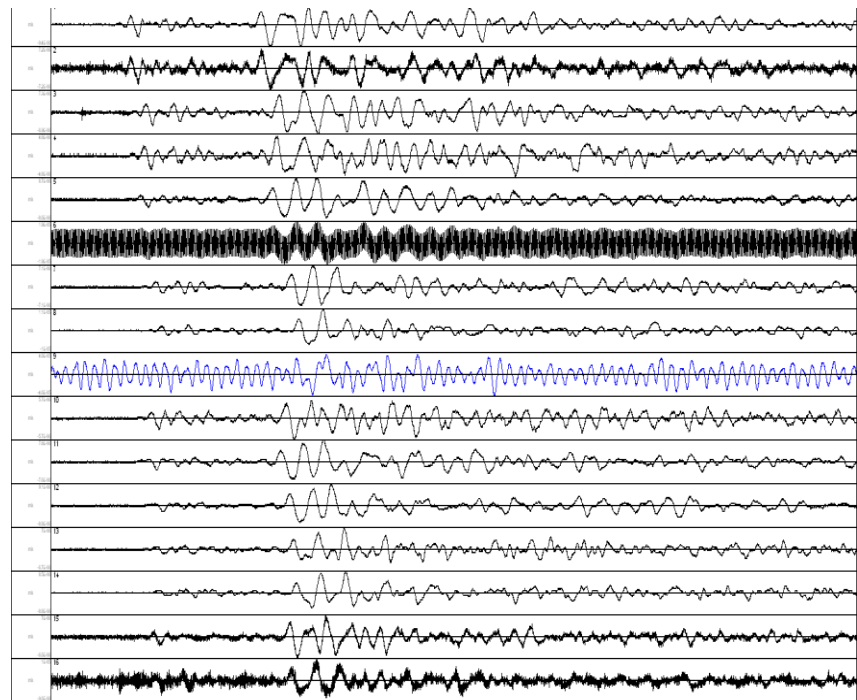
煤与瓦斯突出



# 3.4 微震监测技术



“矿震”



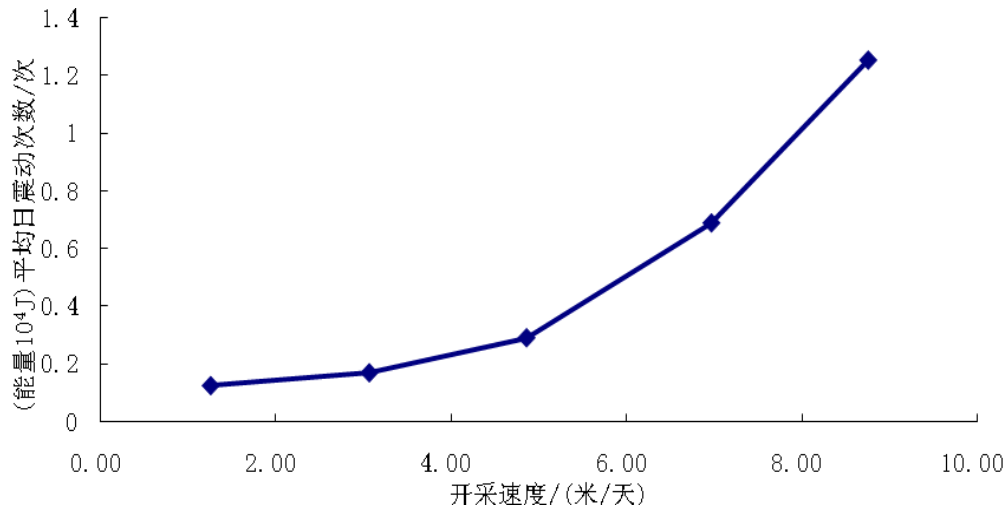
“地震”



## 3.4 微震监测技术——确定开采强度

### ➤ 矿震活动性与开采速度的关系

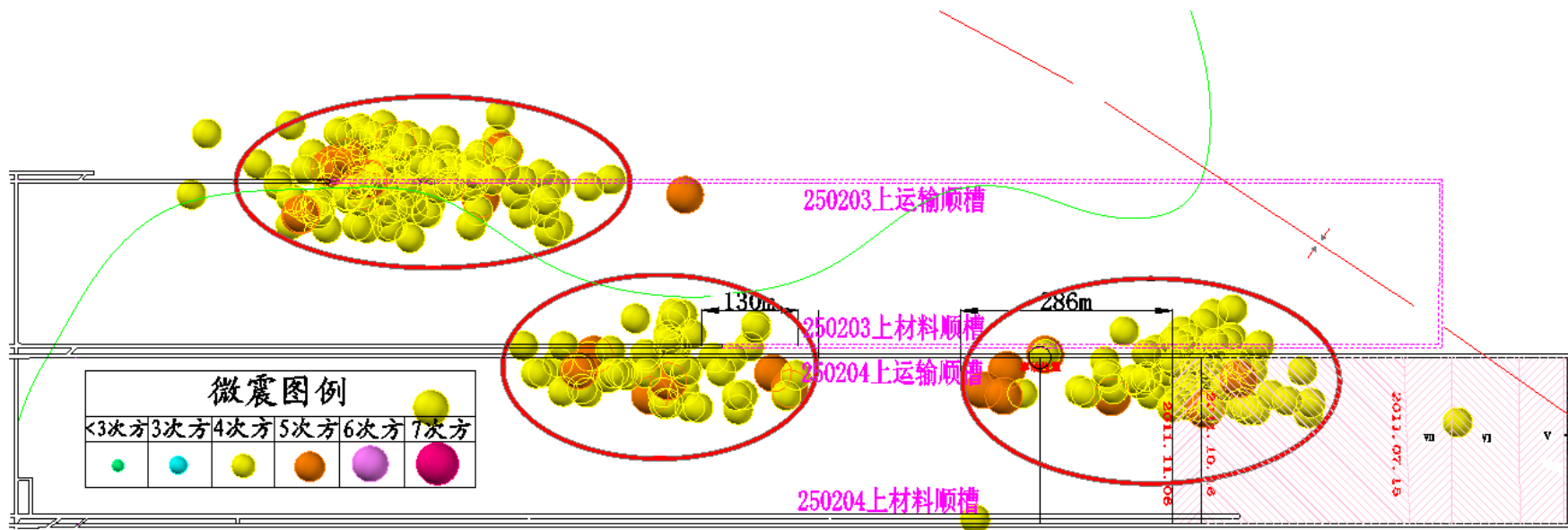
随着开采速度的增加，工作面发生冲击的危险性增高。



(a) 低能量各成分震动次数及比值变化 (b) 低能量各成分震动次数的平均日比例变化

各能量级别震动次数及其成分变化

# 3.4 微震监测技术——确定采掘距离度

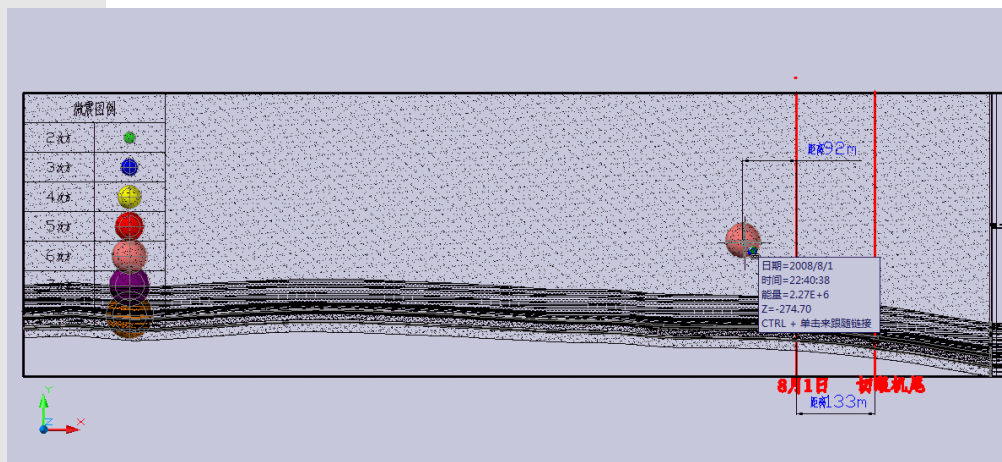
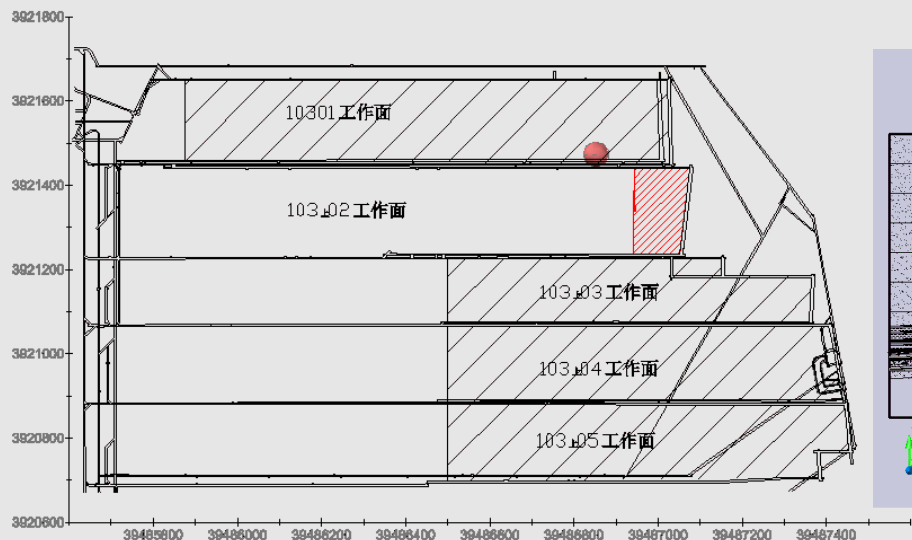


工作面采动影响区域超前工作面286m左右，掘进头影响区域超前130m左右，安全距离约为420m。



# 3.4 微震监测技术——确定关键层运动

## 某矿高能级强矿震受主关键层控制

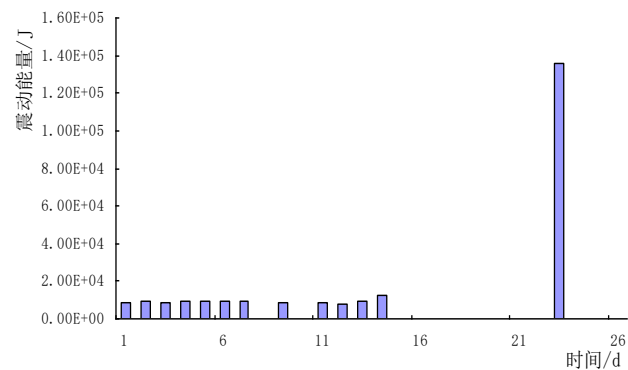
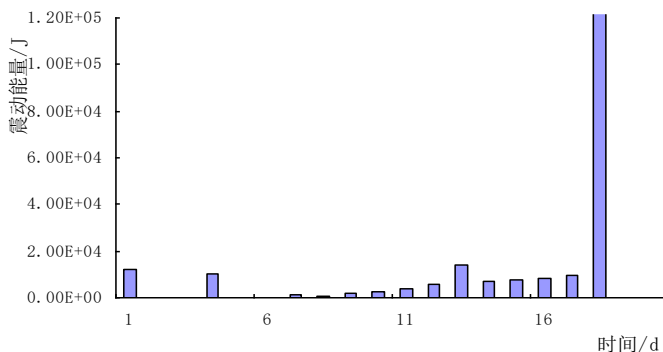
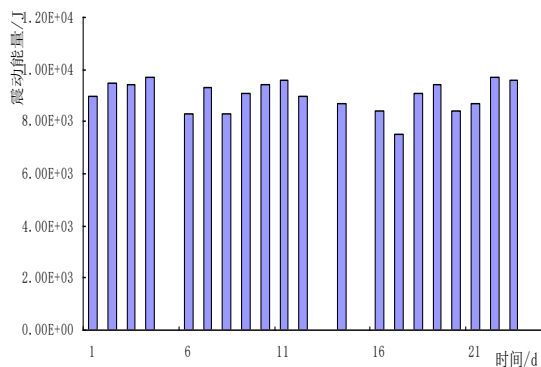


103<sub>上</sub>02工作面E>10<sup>5</sup>J强矿震平面分布与走向剖面图



# 3.4 微震监测技术——冲击危险趋势预警

## ➤ 趋势法



稳定状态的微震活动

指数增长型微震活动

频繁-平静型微震活动

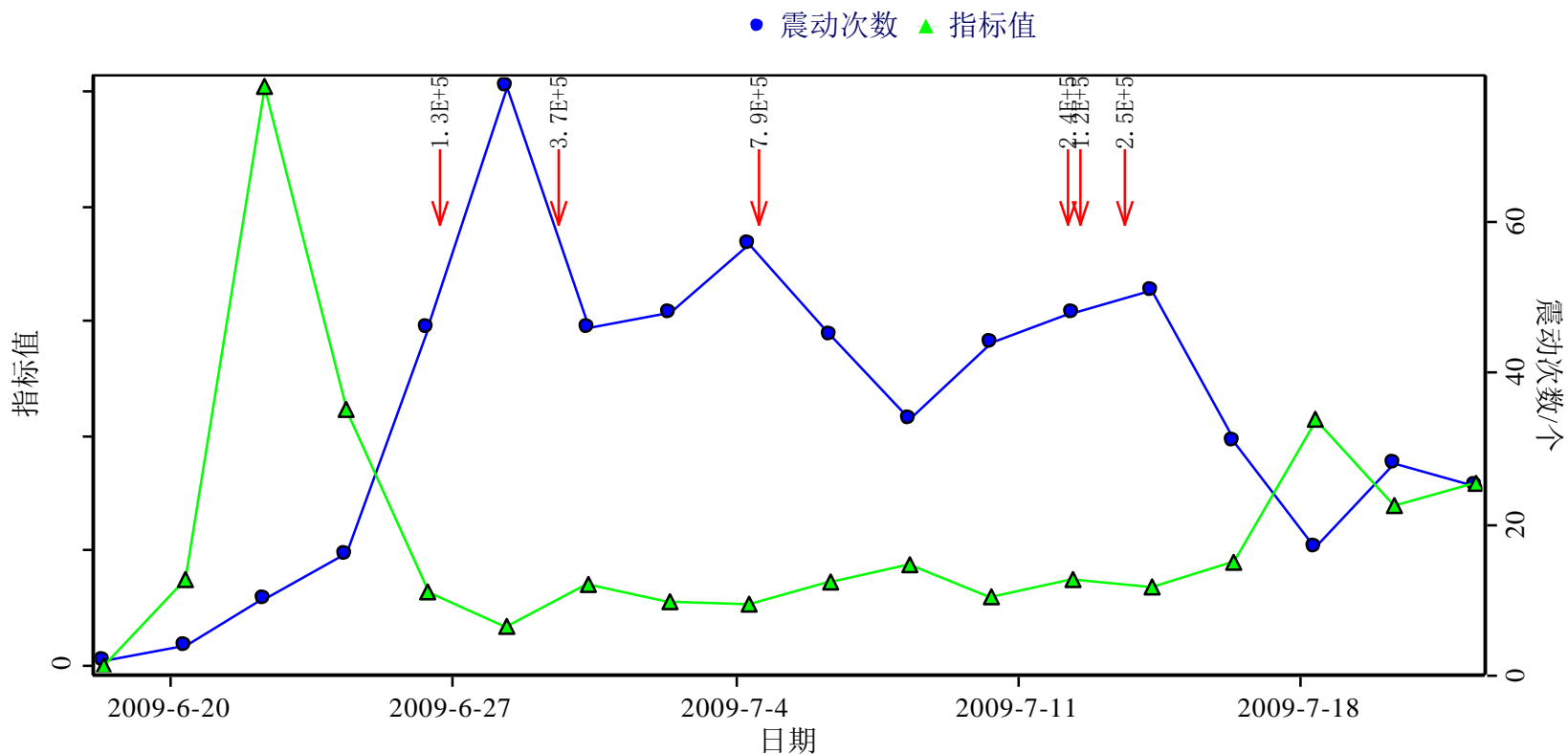
- a) 微震频度和微震总能量连续增大；
- b) 微震频度和微震总能量发生异常变化；
- c) 局部区域出现微震积聚；
- d) 微震能量和微震总能量发生其它异常变化。



# 3.4 微震监测技术——冲击危险趋势预警

## 震源集中度分析方法

己16-17-22141 统计时间区间:2009-6-17 8:00:00至2009-7-23 8:00:00

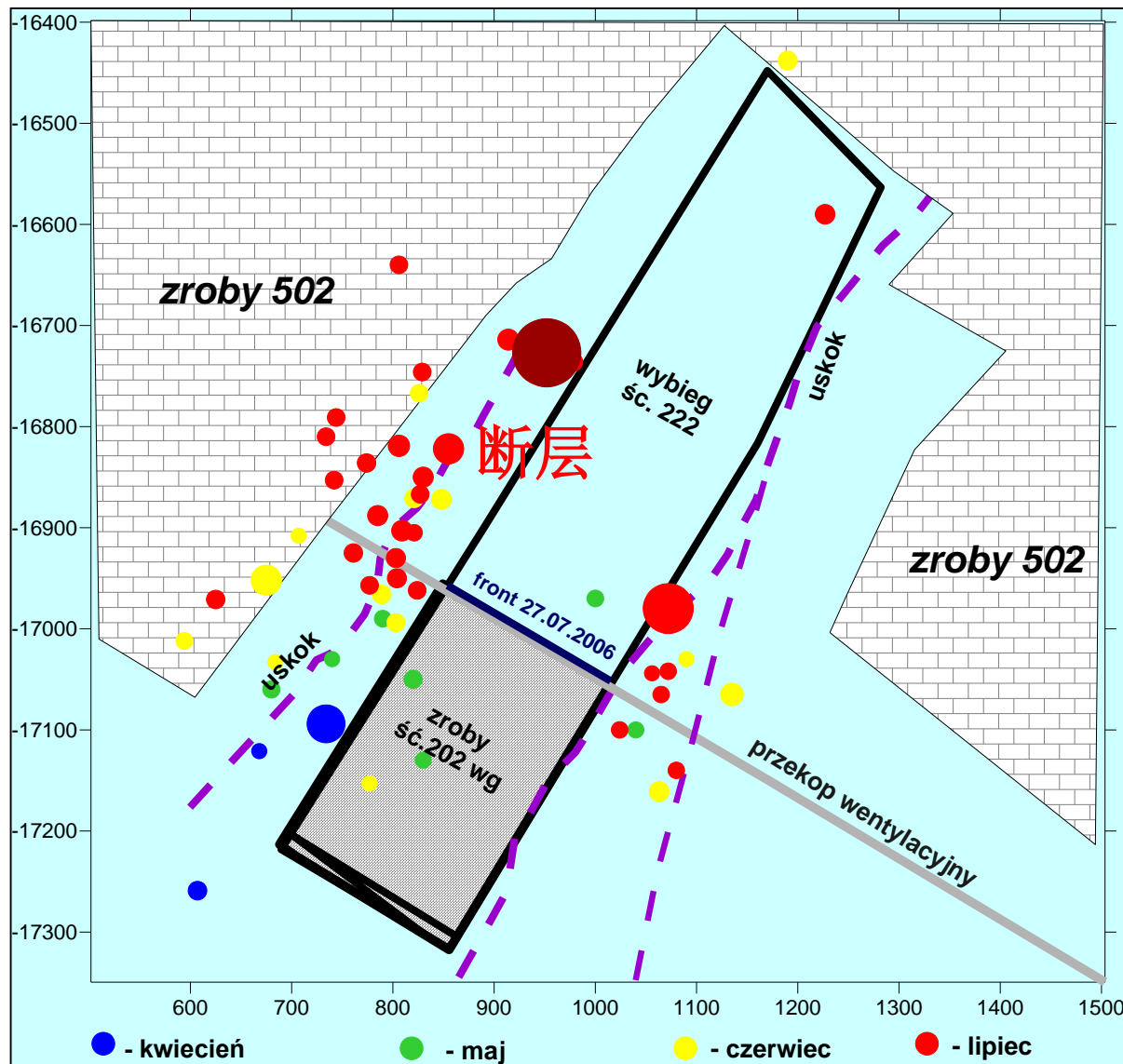


Sindex矿震集中度参数分析效果



### 3.4 微震监测技术——冲击危险趋势预警

- 在工作面推进过程中，震源逐渐向断层区域集中，同时震动频次增加、震动能量也增加。





## 3.4 微震监测技术——冲击危险绝对值预警

---

### ◆ 掘进巷道：

出现能量超过 $10^4\text{J}$ 的矿震（危险性矿震）说明在掘进过程中具有冲击危险；

### ◆ 采煤工作面：

出现能量超过 $10^5\text{J}$ 的矿震（危险性矿震）说明在工作面回采过程中具有冲击危险；

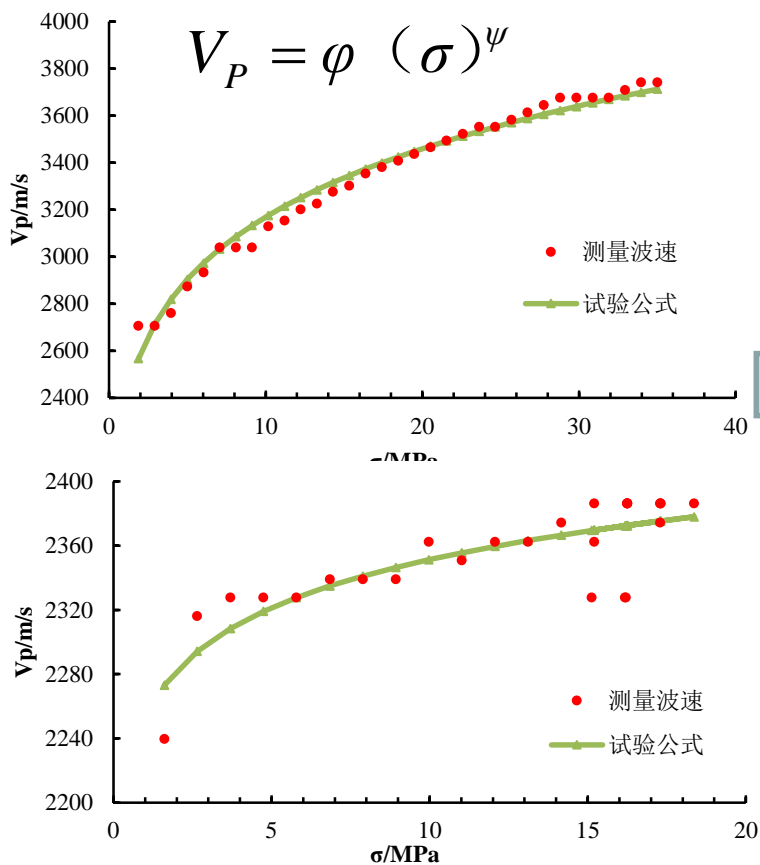


### 3.4 微震监测技术——冲击危险绝对值预警

危险状态	回采工作面	掘进巷道
<b>A</b> 无危险	1、能量 $10^2 \sim 10^3 \text{J}$ , 最大 $E_{\text{max}} < 5 \times 10^3 \text{J}$ 2、 $\sum E < 10^5 \text{J}$ /每5m推进度	1、能量 $10^2 \sim 10^3 \text{J}$ , 最大 $E_{\text{max}} < 5 \times 10^3 \text{J}$ 2、 $\sum E < 5 \times 10^3 \text{J}$ /每5m推进度
<b>B</b> 弱危险	1、能量 $10^2 \sim 10^5 \text{J}$ , 最大 $E_{\text{max}} < 1 \times 10^5 \text{J}$ 2、 $\sum E < 10^6 \text{J}$ /每5m推进度	1、能量 $10^2 \sim 10^4 \text{J}$ , 最大 $E_{\text{max}} < 5 \times 10^4 \text{J}$ 2、 $\sum E < 5 \times 10^4 \text{J}$ /每5m推进度
<b>C</b> 中等危险	1、能量 $10^2 \sim 10^6 \text{J}$ , 最大 $E_{\text{max}} < 1 \times 10^6 \text{J}$ 2、 $\sum E < 10^7 \text{J}$ /每5m推进度	1、能量 $10^2 \sim 10^5 \text{J}$ , 最大 $E_{\text{max}} < 5 \times 10^5 \text{J}$ 2、 $\sum E < 5 \times 10^5 \text{J}$ /每5m推进度
<b>D</b> 强危险	1、能量 $10^2 \sim 10^8 \text{J}$ , 最大 $E_{\text{max}} > 1 \times 10^6 \text{J}$ 2、 $\sum E > 10^7 \text{J}$ /每5m推进度	1、能量 $10^2 \sim 10^5 \text{J}$ , 最大 $E_{\text{max}} > 5 \times 10^5 \text{J}$ 2、 $\sum E > 5 \times 10^5 \text{J}$ /每5m推进度



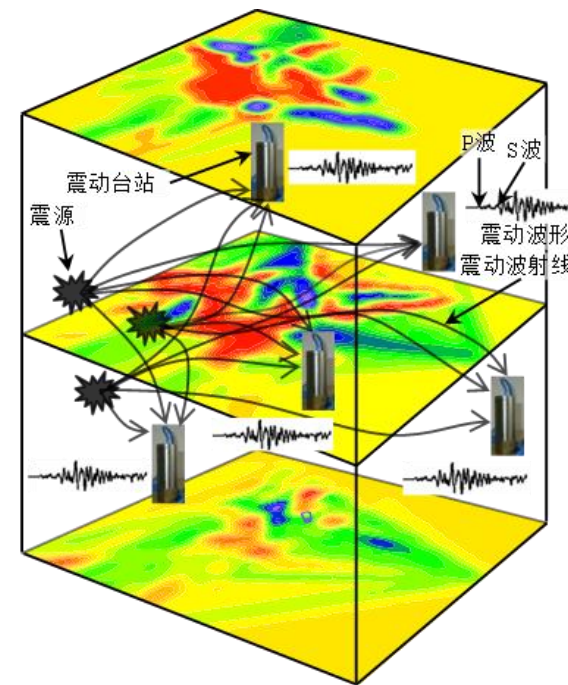
# 3.5 震动波CT反演技术



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

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

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



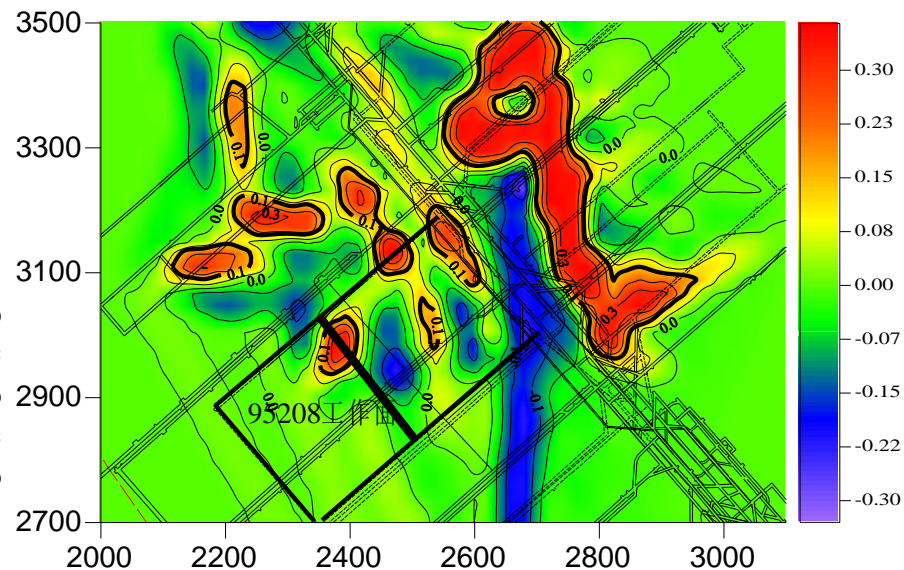
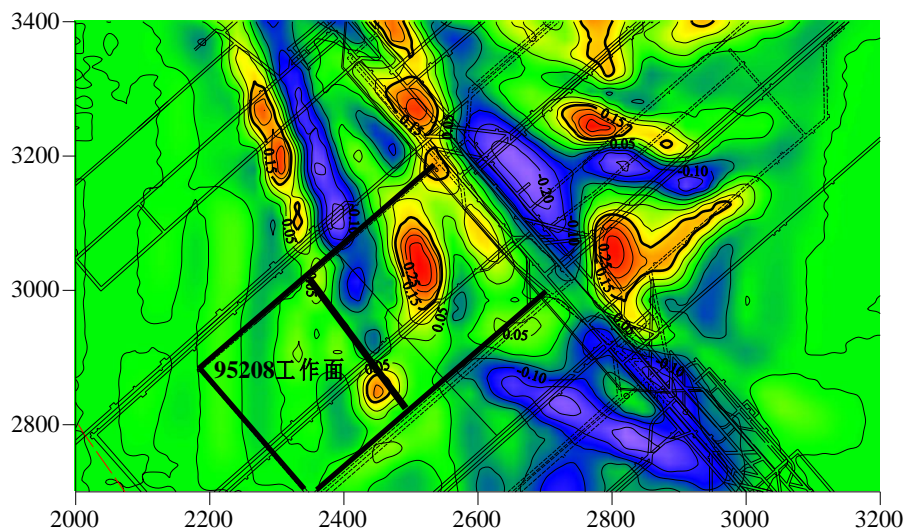
探测示意图

震动波波速与应力关系曲线

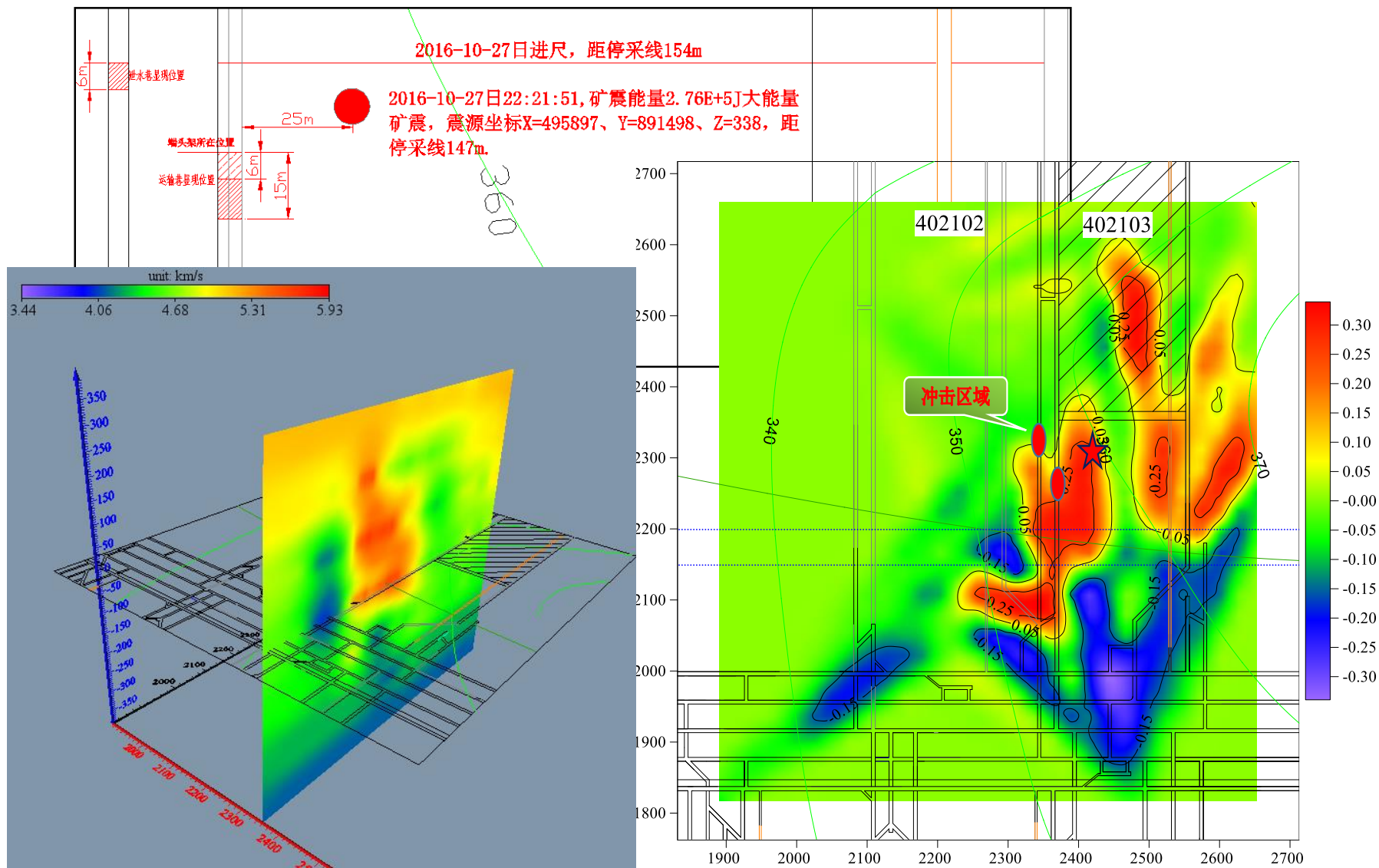
# 3.5 震动波CT反演技术

## □ 某工作面震动波CT解析反演

- ◆ 以周为单位，震动波层析成像反演计算。
- ◆ 以波速异常与波速变化梯度为指标。



# 3.5 震动波CT反演技术





# 4.1 冲击危险预警准则与模型

煤岩冲击破坏的动静叠加诱冲机理

强度与破坏准则

动力破坏准则

冲击致灾准则

煤岩冲击动力灾害监测预警理论准则与模型

冲击孕育条件监测

动力破坏模式确定

冲击危险强度预测

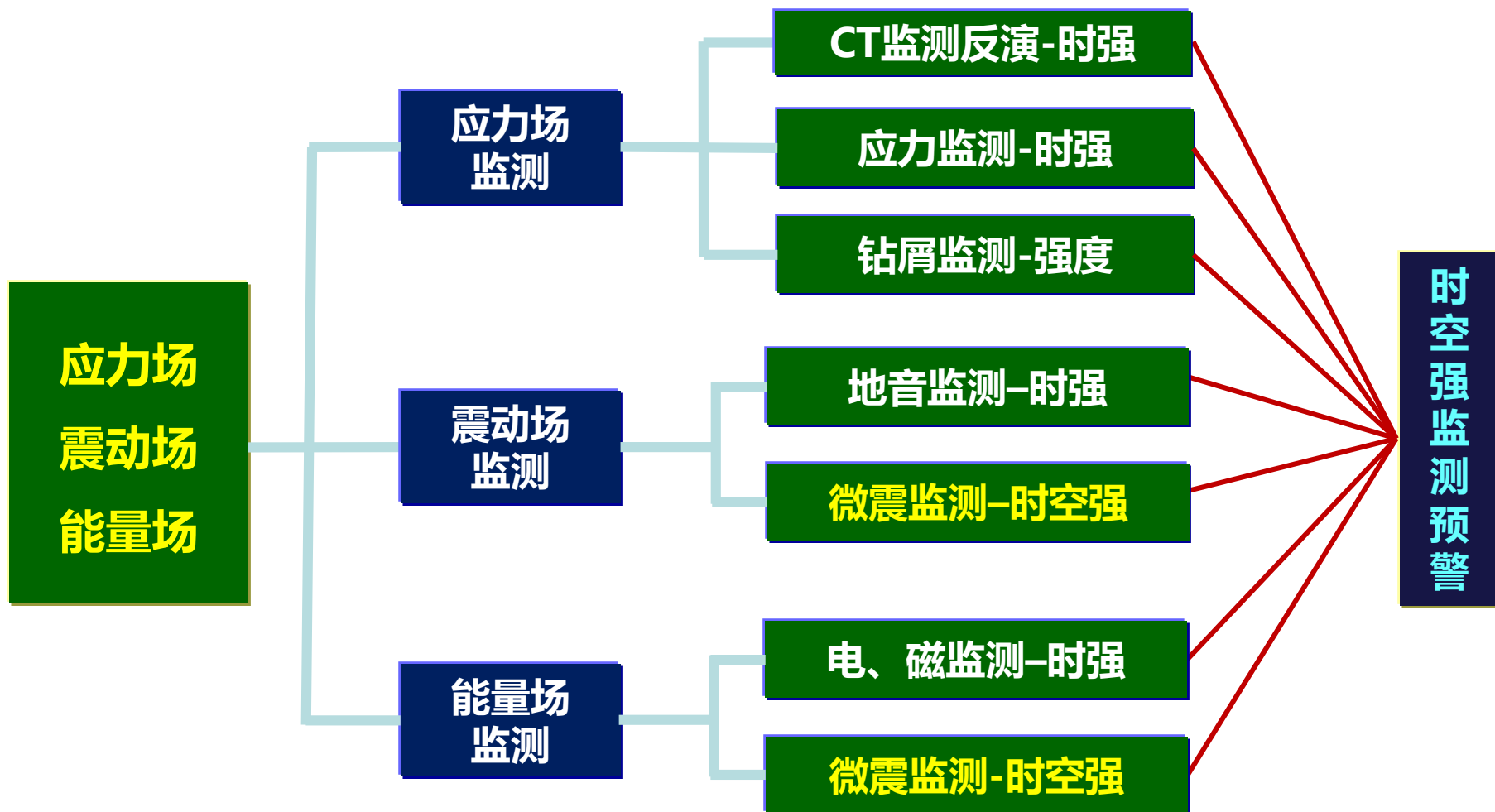
应力场

震动场

能量场



# 4.1 冲击危险预警准则与模型





# 4.1 冲击危险预警准则与模型

## 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

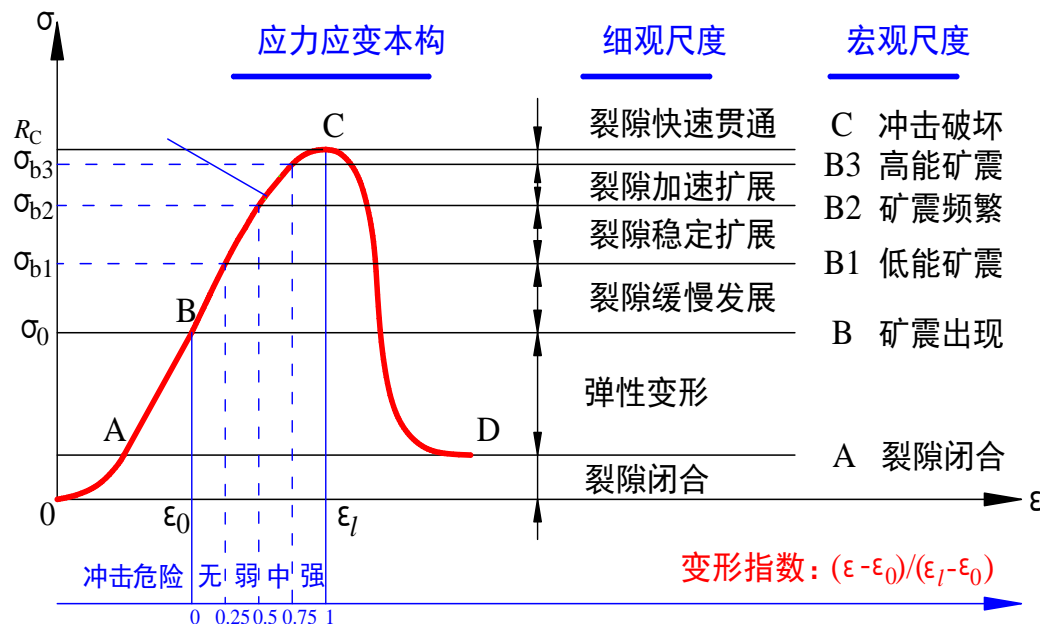
$$0 \leq W_n(t) = \frac{N(t) - N^0}{N_l - N^0} \leq 1 \quad N(t) \geq N^0$$

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



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

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



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

异常指数  
归一化

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





## 4.2 多参量综合监测预警指标

### 多参量监测指标体系——选取物理意义明确的指标

- 震动波波速  $V_p = \phi\sigma^\psi$
- 冲击变形能  $W_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{E1} - \varepsilon_{E0}}{\varepsilon_{E1} - \varepsilon_{E0}}$
- 时序集中度  $Q_{11} = \frac{Var(T)}{\Delta T}$
- 震源集中度  $Q_{21} = \sqrt[3]{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3}$
- 活动度S值  $0.117 \lg(N+1) + 0.029 \lg \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{1.5M_i} + 0.015M$
- 矿压危险系数  $\Delta_p = \frac{p_i - \bar{p}_i}{\sigma_p} = \begin{cases} 0 (\Delta_p < 0), \\ \Delta_p (0 \leq \Delta_p < 1) \\ 1 (\Delta_p \geq 1) \end{cases}$
- 总应力当量  $Q_{32} = \frac{\sum \sqrt{E_i}}{ST}$

$$\varepsilon_{E1} = \sum_{i=1}^N \sqrt{E_i}$$
$$\varepsilon_E = \lg \left( \frac{\sum \sqrt{E_i}}{ST} \right)$$

#### ➤ b 值

$$\lg N(\geq \lg E) = a - b \lg E$$

#### ➤ A(b)值

$$A(b) = \frac{1}{b} \log \sum_{i=1}^N 10^{bM_i}$$

#### ➤ 断层总面积

$$A(t) = \sum_{k=k_0}^{k-1} N(k)L^{k-k_0} \quad (L=4.5)$$

#### ➤ 时空扩散性

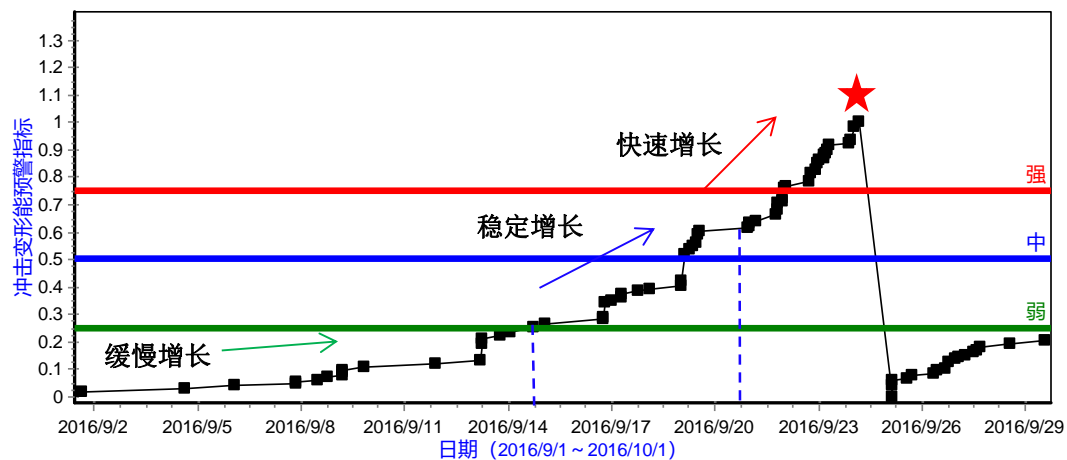
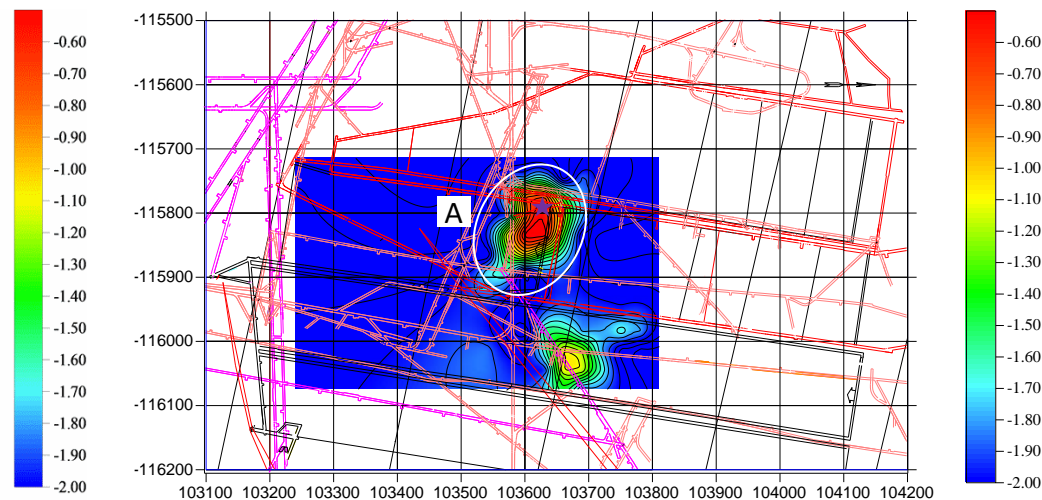
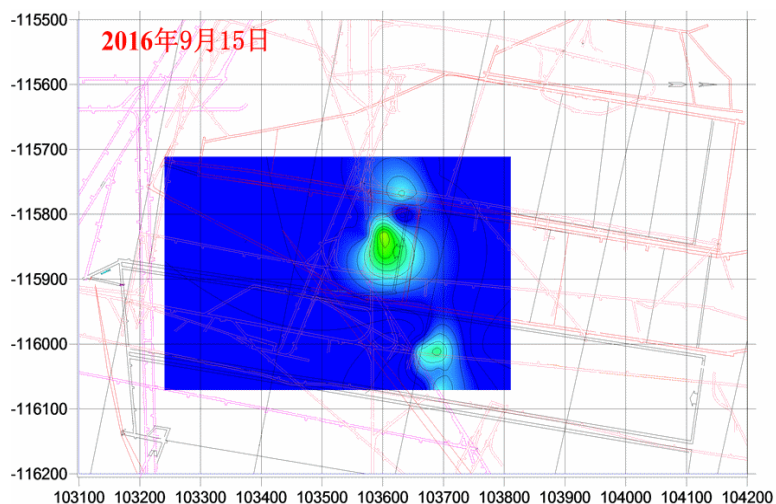
$$d_s = \frac{(\bar{X})^2}{t}$$





# 4.2 多参量综合监测预警指标

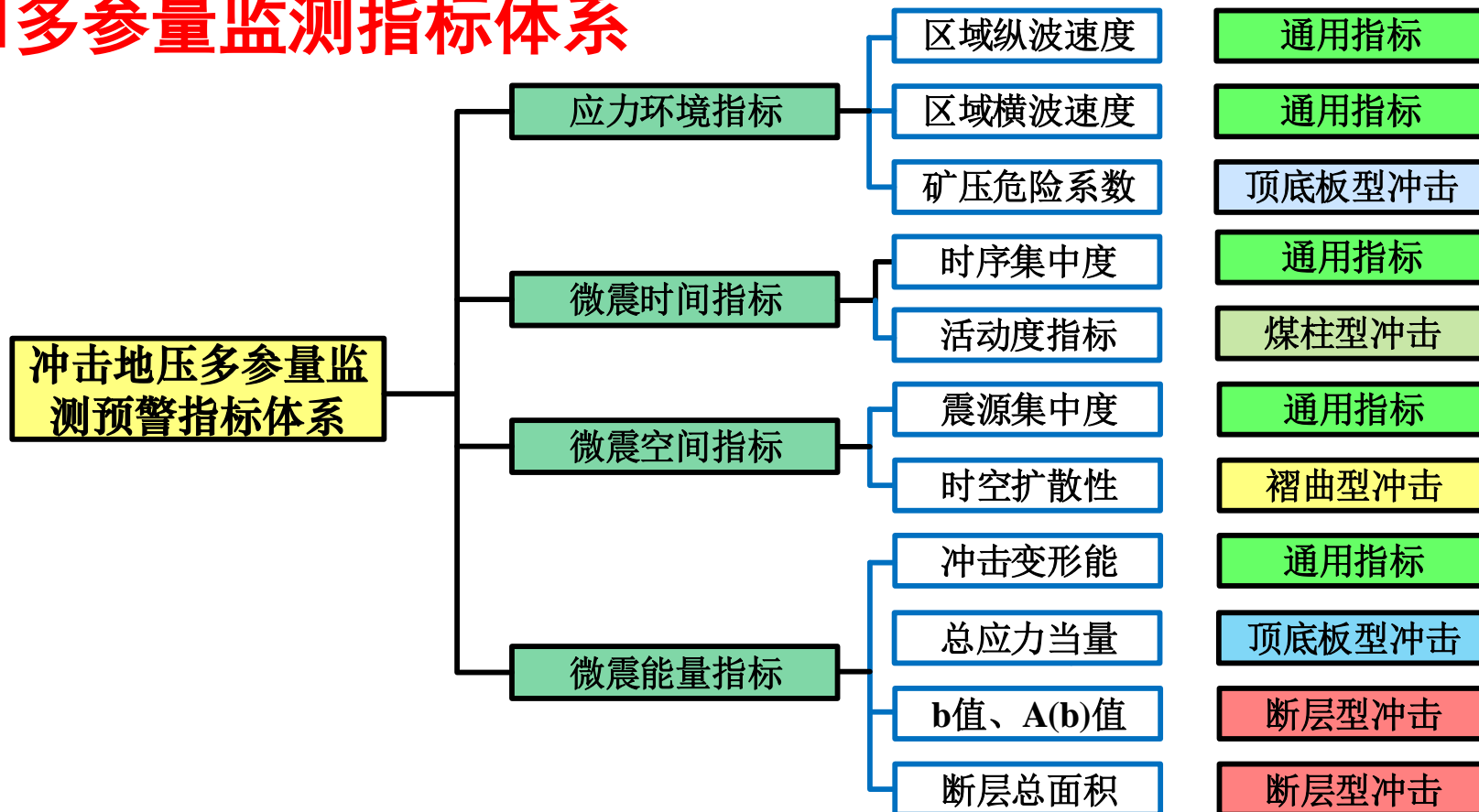
## 冲击变形能指标





## 4.3 多参量综合监测预警指标

### □ 多参量监测指标体系



- 说明：不同类型冲击，指标敏感程度不同（权重变化）
- 不同指标均能一定程度反映震动时间、空间、强度特征
- 电磁、应力（地应力、采动应力）可以与上述指标联合使用



# 4.3 多参量综合监测预警指标

煤矿冲击矿压危险监测预警分析软件V2016

文件 微震可视化 微震时序数据分析 微震空间演化云图 微震波形信息分析 微震时序预警 地音预警 矿压预警 应力预警 参数设置 报表导出 外部模块 关于我们

远程显示界面 | 微震事件查询过滤 时序绘图区域 | 空间云图区域

该参数权重10, 当前危险系数0.90, 危险等级强。

该参数权重10, 当前危险系数1.00, 危险等级强。

该参数权重10, 当前危险系数0.73, 危险等级中。

该参数权重10, 当前危险系数1.00, 危险等级强。

冲击矿压多参量综合预警权重设置

多参量指标:	对应权重:
<input checked="" type="checkbox"/> 微震活动性综合预警指标	0.3333
<input checked="" type="checkbox"/> 微震时空强综合预警指标	0.3333
<input checked="" type="checkbox"/> 冲击变形能预警指标	0.3333
<input checked="" type="checkbox"/> 矿压预警指标	0.3333
<input checked="" type="checkbox"/> 地音预警指标	0.3333
<input checked="" type="checkbox"/> 应力预警指标	0.3333

预警有效天数: 3 关闭

冲击矿压综合监测预警分析软件V1.0

文件 微震可视化 微震时序数据分析 多参量综合预警 基本参数设置 报表导出 关于我们

远程显示界面 微震事件查询过滤 时序绘图区域 微震预警显示

DXF地图路径: 黄74102-74104定位底座.dxf

定参成图 0.005 0.560 1.0 获取临界参数 预警成图 引入异常指数模型

综合预警, 弱危险

- 无 15%
- 弱 40%
- 中 20%
- 强 25%

警告! 此计算将改变临界参数数值, 请确认?

冲击变形能指数

选择日期: 2018/11/27 至 2018/12/27

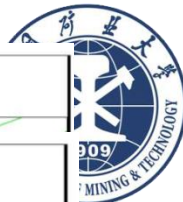
训练次数: 0

训练预测效能%: 50

支形能临界值: 739

案例提交分析 冲击支形能指数

2018年12月27日



胡家河煤矿 401105 工作面  
冲击变形能时空监测预警报表 20170312-20170412

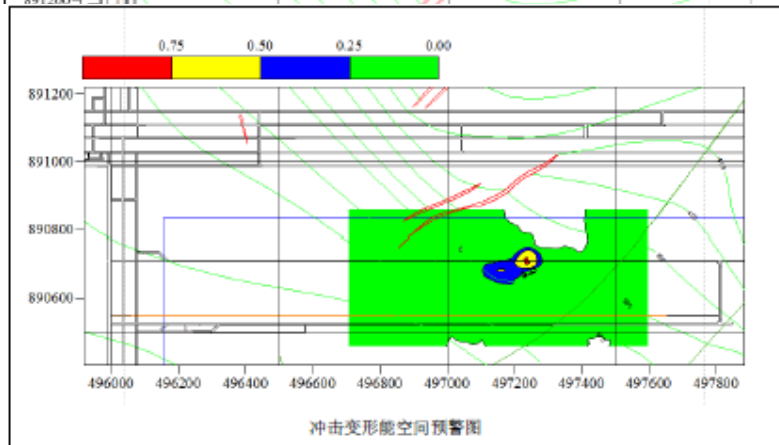
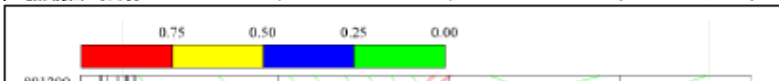
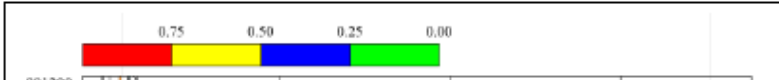
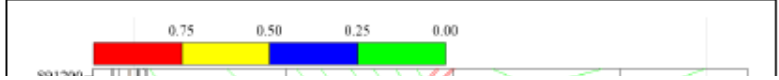
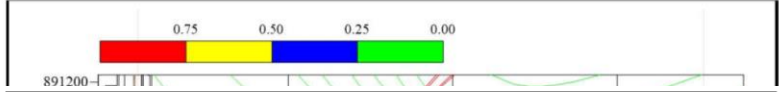
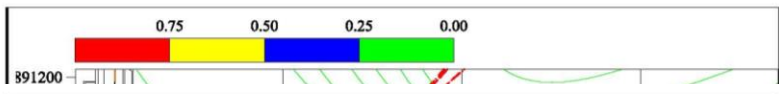
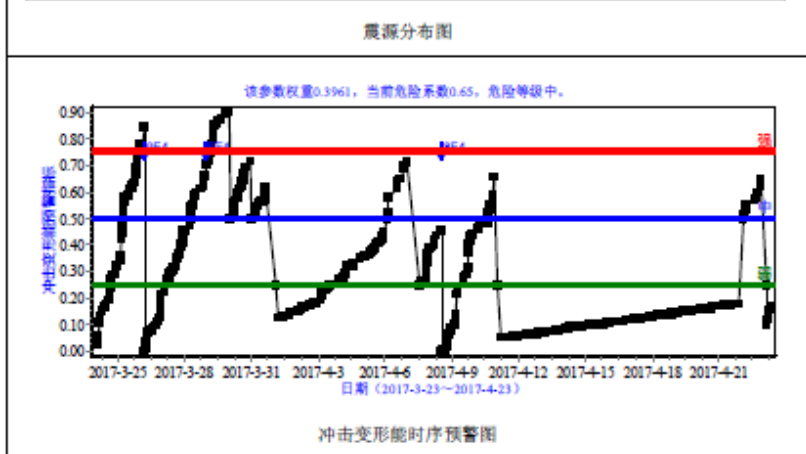
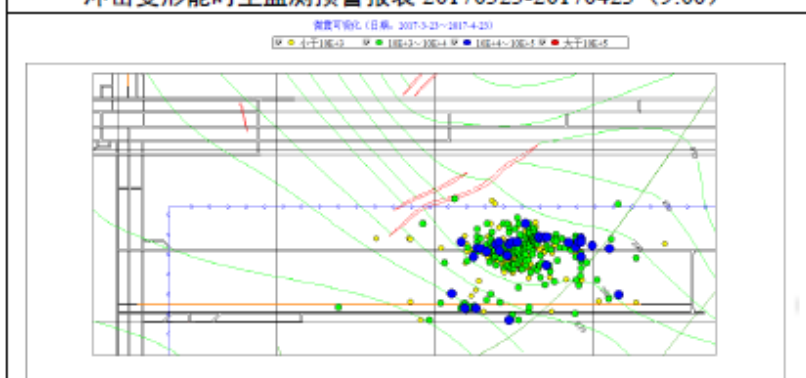
胡家河煤矿 401105 工作面  
冲击变形能时空监测预警报表 20170318-20170418

胡家河煤矿 401105 工作面  
冲击变形能时空监测预警报表 20170320-20170420 (20:30)

胡家河煤矿 401105 工作面  
冲击变形能时空监测预警报表 20170321-20170421 (20:30)

胡家河煤矿 401105 工作面  
冲击变形能时空监测预警报表 20170322-20170422 (20:30)

胡家河煤矿 401105 工作面  
冲击变形能时空监测预警报表 20170323-20170423 (9:00)



冲击危险判别标准	危险等级	A	B	C	D
	应力集中及危险特征	无	弱	中	强
	异常值/%	<25	25~50	50~75	>75
危险分析	危险等级及区域: 时序上危险等级为中等, 空间上强危险区域和中等危险区域范围缩小、强度减弱、整体上为中等危险, 因此工作面整体上为中等危险。 影响因素: 超前支承压压力、褶曲等影响因素。				
处理意见	建议采取钻屑法对上述危险区域进行检验, 一旦钻屑检测出现异常, 在保证安全的前提下提前对危险区采取卸压措施: 煤体大直径和爆破联合卸压, 以及顶板爆破预裂卸压。回采期间严禁人员在此区域逗留。				
制表			审核		
审批			日期	2017-04-23 9:00	



**敬请批评指正!**

**相互交流提高**



**谢谢!**