

三种原理



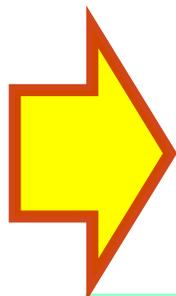
CISM

State Key Laboratory
of Coal Resources and Safe M



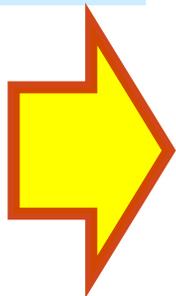
2

1) 应力震动能量
三场监测原理



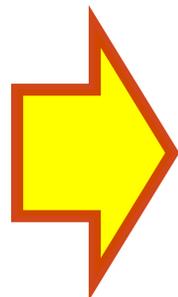
- 力-电-震-能耦合模型
- 归一化监测预警准则
- 时空强分级预测模式

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

1.1) 力电震能耦合模型



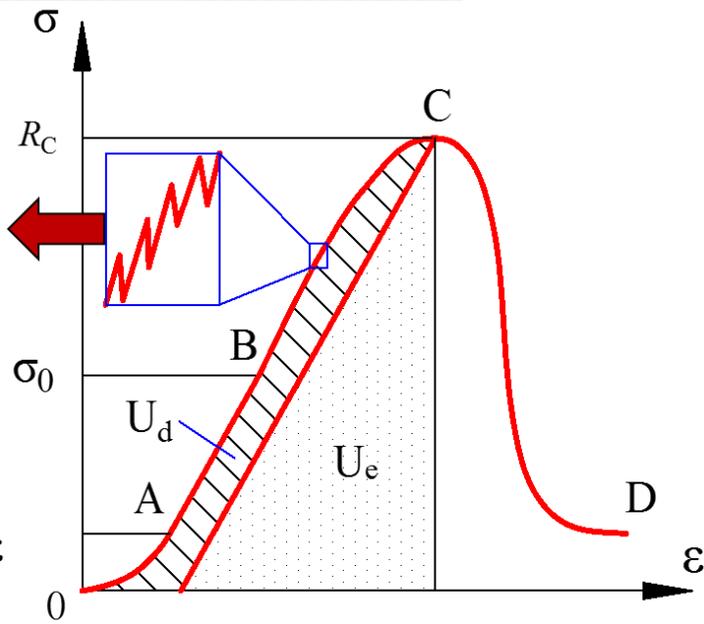
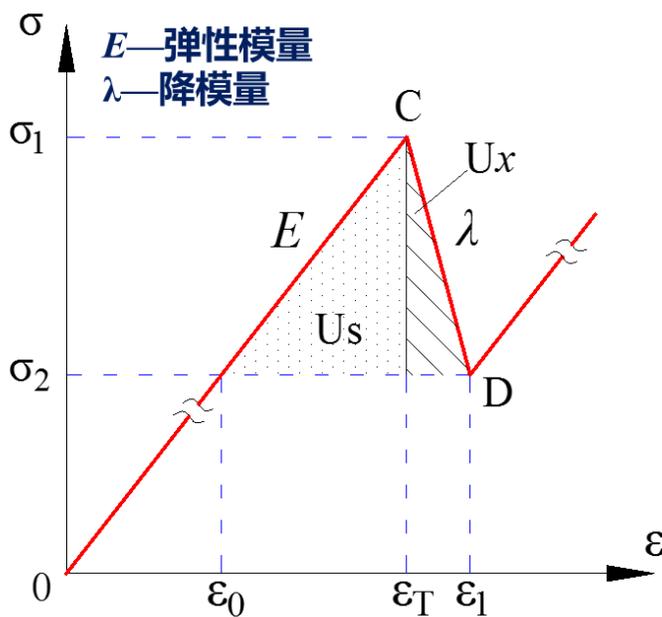
State Key Laboratory
of Coal Resources and Safe Mining



冲击地压应力-能量-物理量耦合关系

$$U_{AE} = U_s - U_x = \frac{\lambda - E}{2\lambda E} (\sigma_1 - \sigma_2)^2 = \frac{\lambda E (\lambda - E)}{2(\lambda + E)^2} (\varepsilon_1 - \varepsilon_0)^2$$

震动能量	应力降	应变增量
$\sqrt{U_{AE}}$	$\propto \Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_2$	$\propto \Delta\varepsilon = \varepsilon_1 - \varepsilon_0$



当 $E/\lambda \geq 1$: $U_{AE} \leq 0$

当 $E/\lambda = 0$: U_{AE} 最大

$$U_{AE} = \frac{1}{2} E (\varepsilon_2 - \varepsilon_0)^2 = \frac{1}{2E} (\sigma_1 - \sigma_2)^2$$

冲击地压发生的必要条件：

$$0 \leq E/\lambda < 1$$

1.2) 归一化监测预警准则



State Key Laboratory of Coal Resources and Safe M



变形预警准则

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

多参量预警准则

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

归一化准则

➤ 正向指标

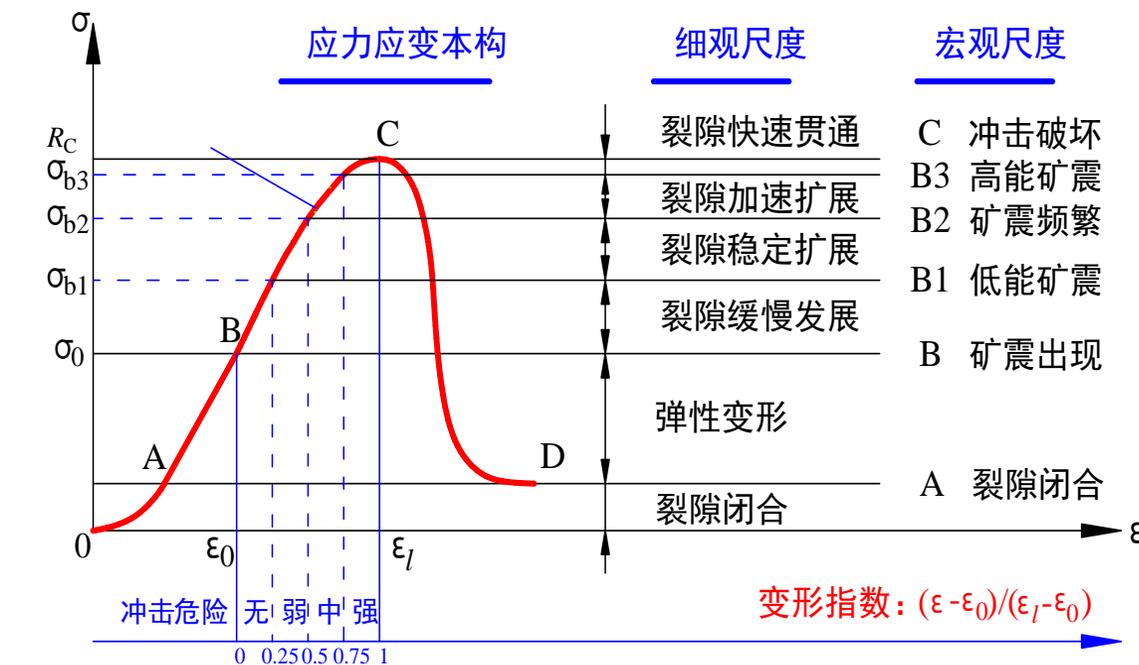
$$F_i = [(R_i - R_{\min}) / (R_{\max} - R_{\min})]$$

➤ 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

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

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

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

1.3) 时空强分级预测模式

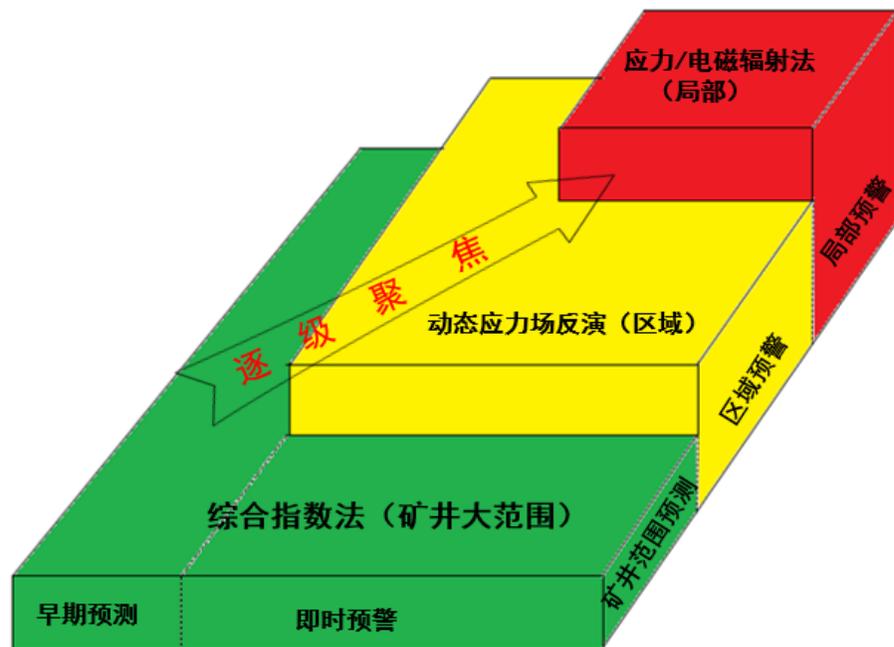
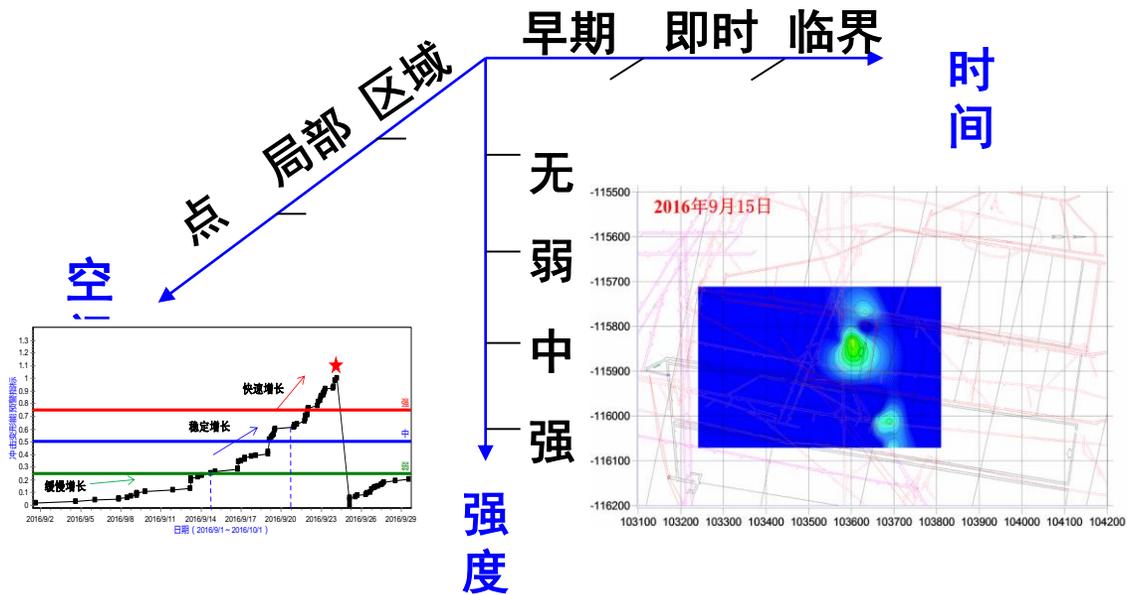


State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining



- 时间**——早期智能判识、即时多参量监测、临界冲击预警
- 空间**——区域耦合评价、局部定量判断、定点确认

危险等级	危险状态	危险指数	防治对策
A	无危险	<0.25	所有的采掘工作可正常进行。
B	弱危险	$0.25\sim0.5$	加强冲击动力危险的监测预报。
C	中等危险	$0.5\sim0.75$	采取强度弱化减冲治理措施
D	强危险	>0.75	停止采掘作业，人员撤离，采取治理措施。经检验危险消除后，方可作业。



2.1) 强度弱化减冲原理

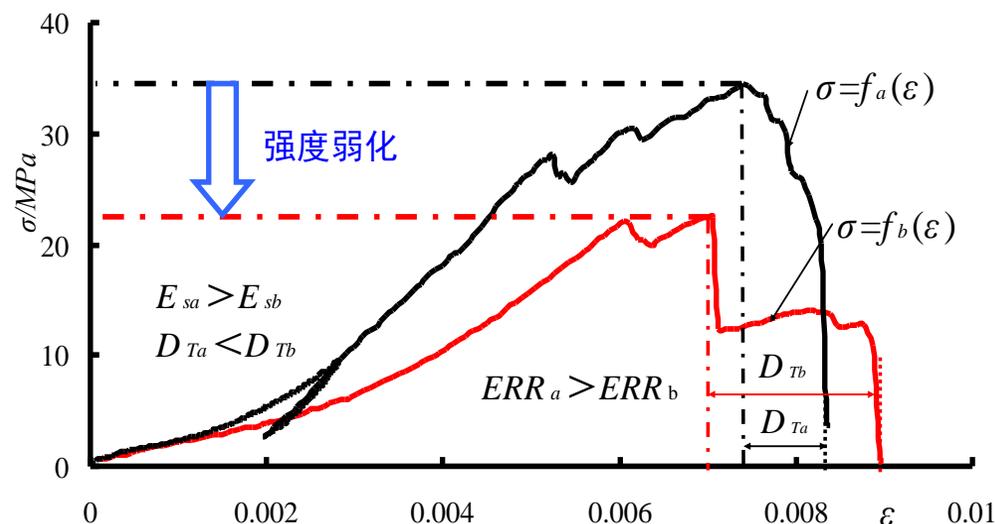
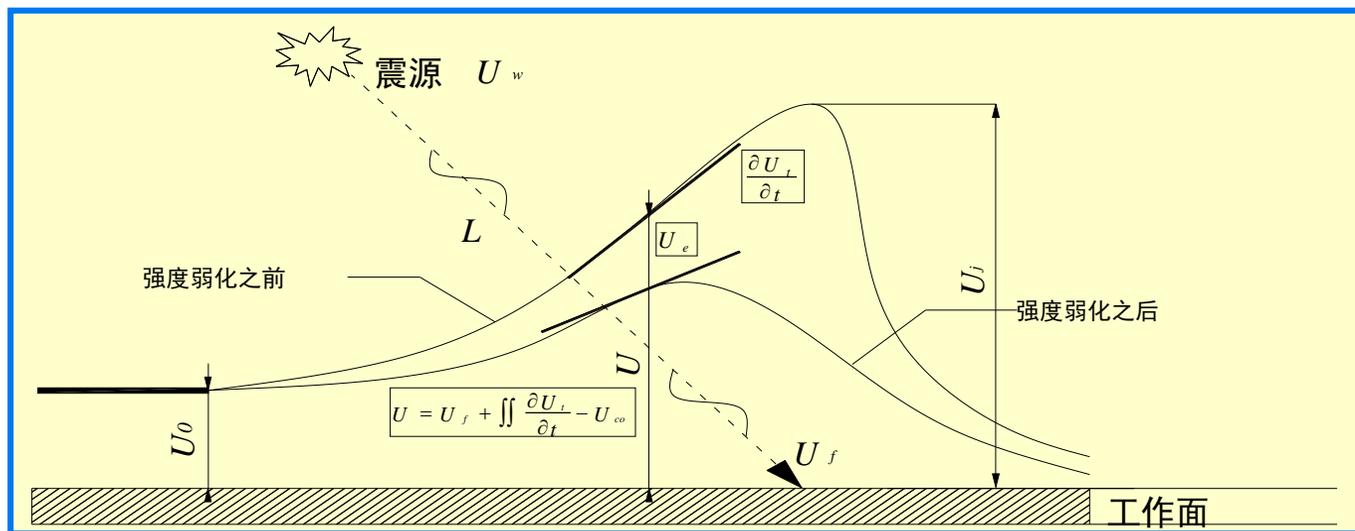


State Key Laboratory
of Coal Resources and Safe M



□ 强度弱化减冲原理 (2004)

- 一是采取松散煤岩体的方式，降低煤岩体的强度 冲击倾向性，使得冲击危险性降低；
- 二是对煤岩体的强度进行弱化后，使得应力高峰向岩体深部转移，并降低应力集中程度；
- 三是采取一定的减冲解危措施，使得发生冲击压时，降低冲击的强度。



2.2) 区域降压减震吸能效应



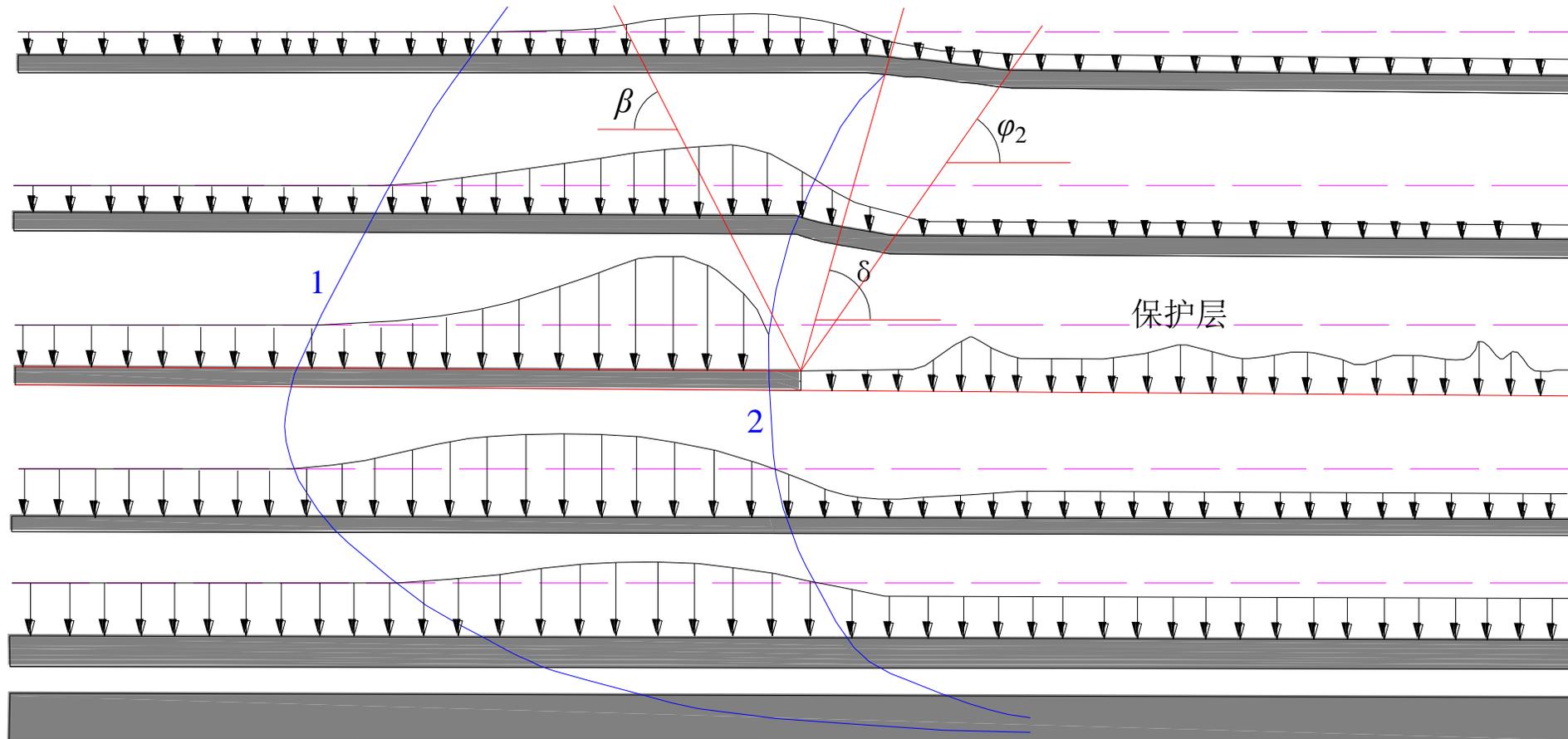
CISM

State Key Laboratory
of Coal Resources and Safe M



◆ 开采保护层

➤ 保护层作用：降压、减震、吸能



2.2) 区域降压减震吸能效应

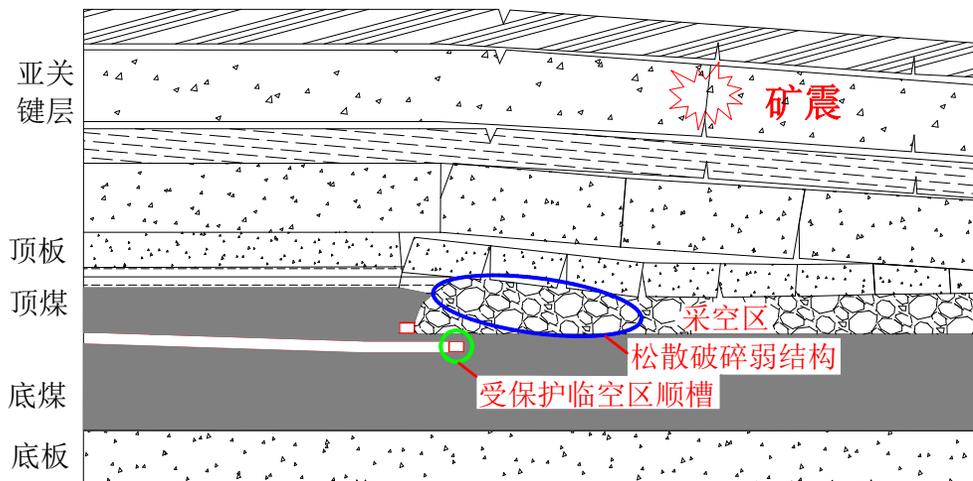
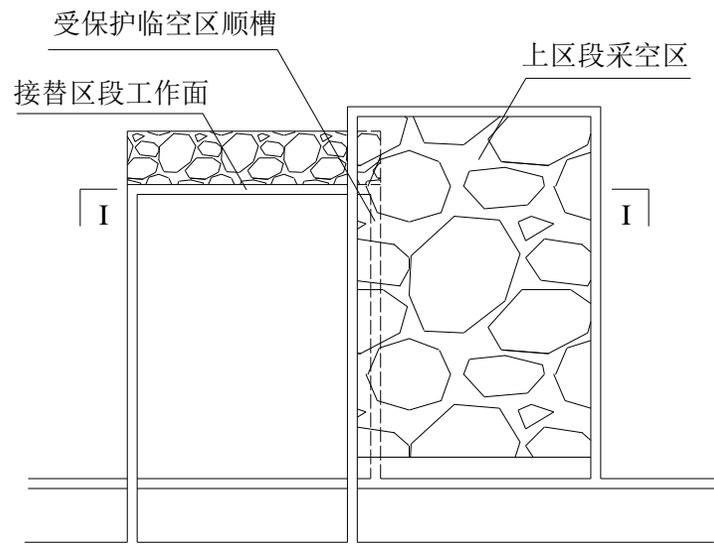
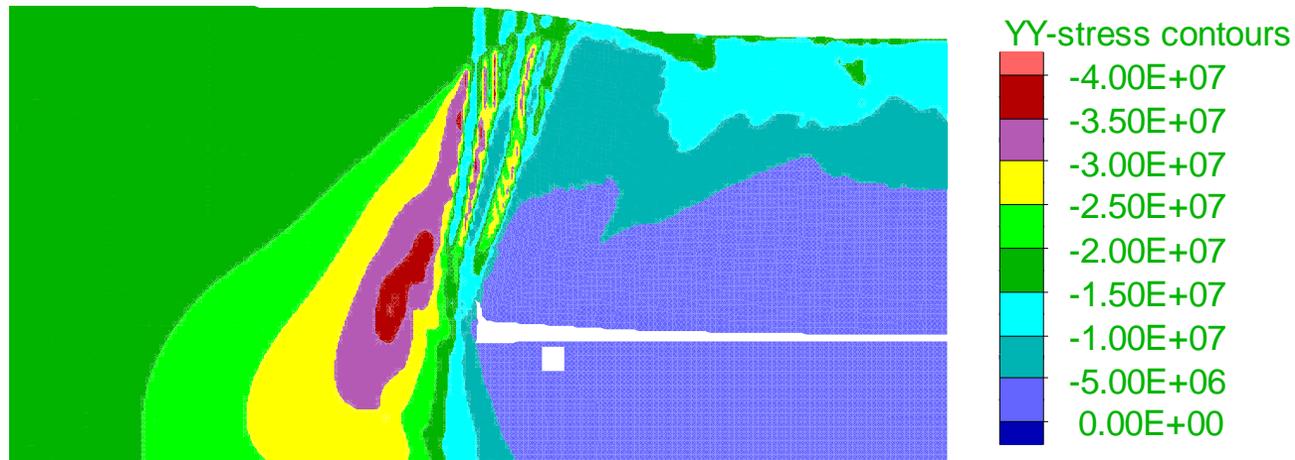


State Key Laboratory
of Coal Resources and Safe M



□ 错层布置降压作用

巷道外错—上区段采
空区下方布置顺槽



2.3) 局部强度弱化减冲效应



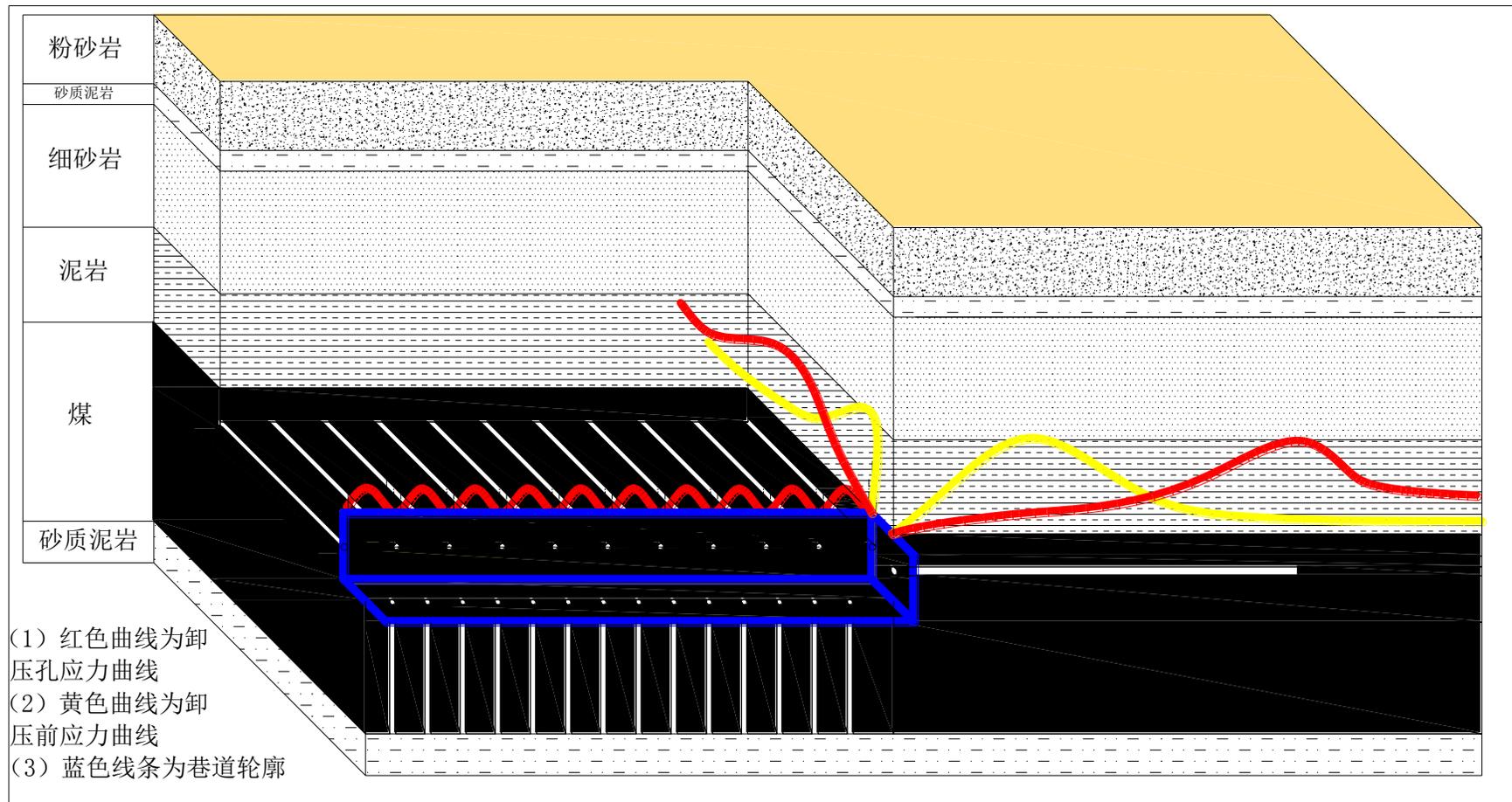
CISM

State Key Laboratory
of Coal Resources and Safe M



□ 煤体的钻孔、爆破卸压

巷道掘进头、两帮及底板的大直径钻孔卸压



2.3) 局部强度弱化减冲效应

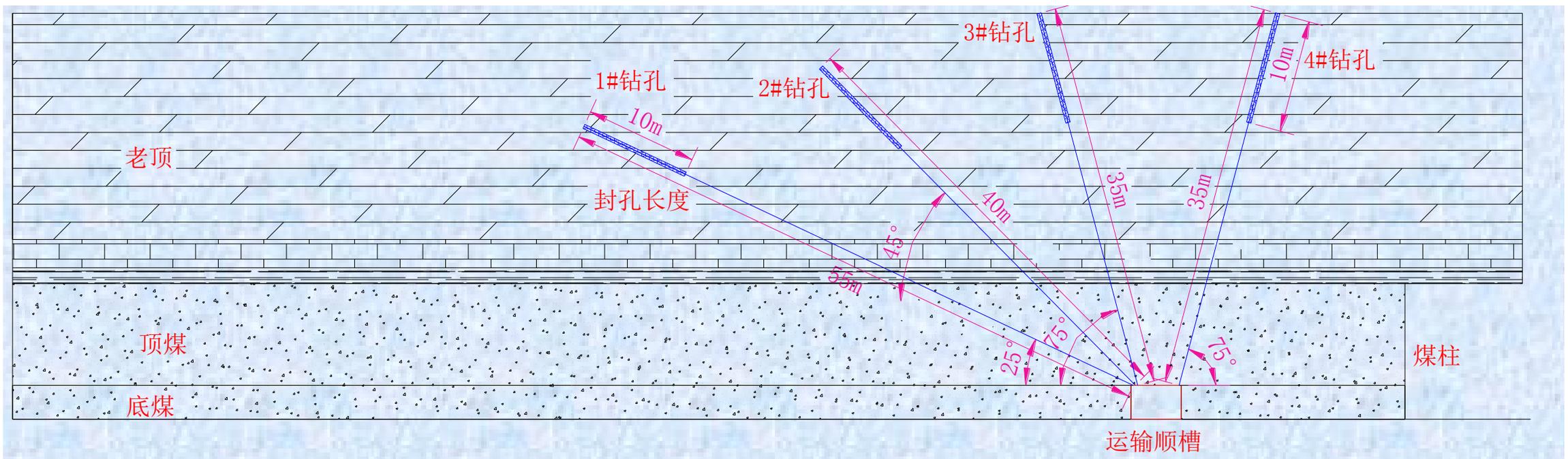
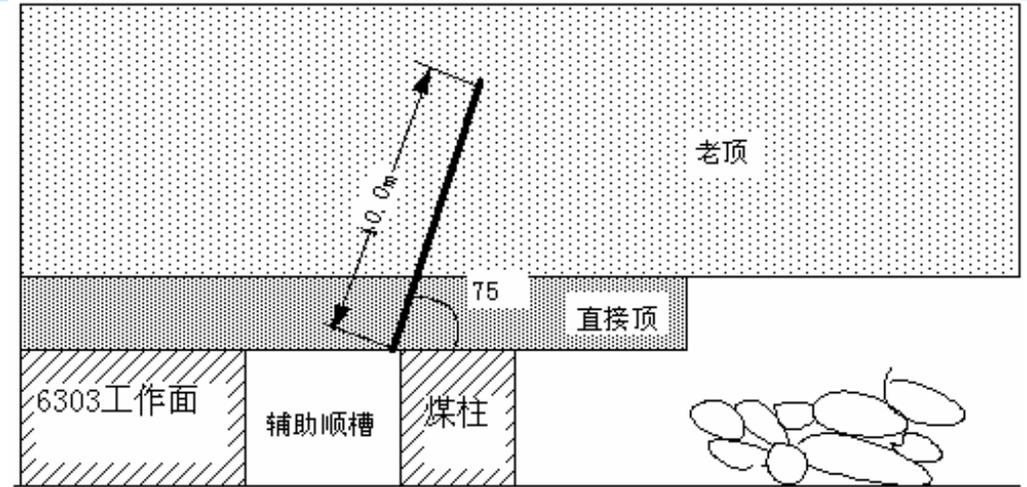


CISM

State Key Laboratory
of Coal Resources and Safe M



- 浅孔爆破断顶卸压;
- 深孔爆破断顶卸压。



3.1) 强弱强结构力学模型



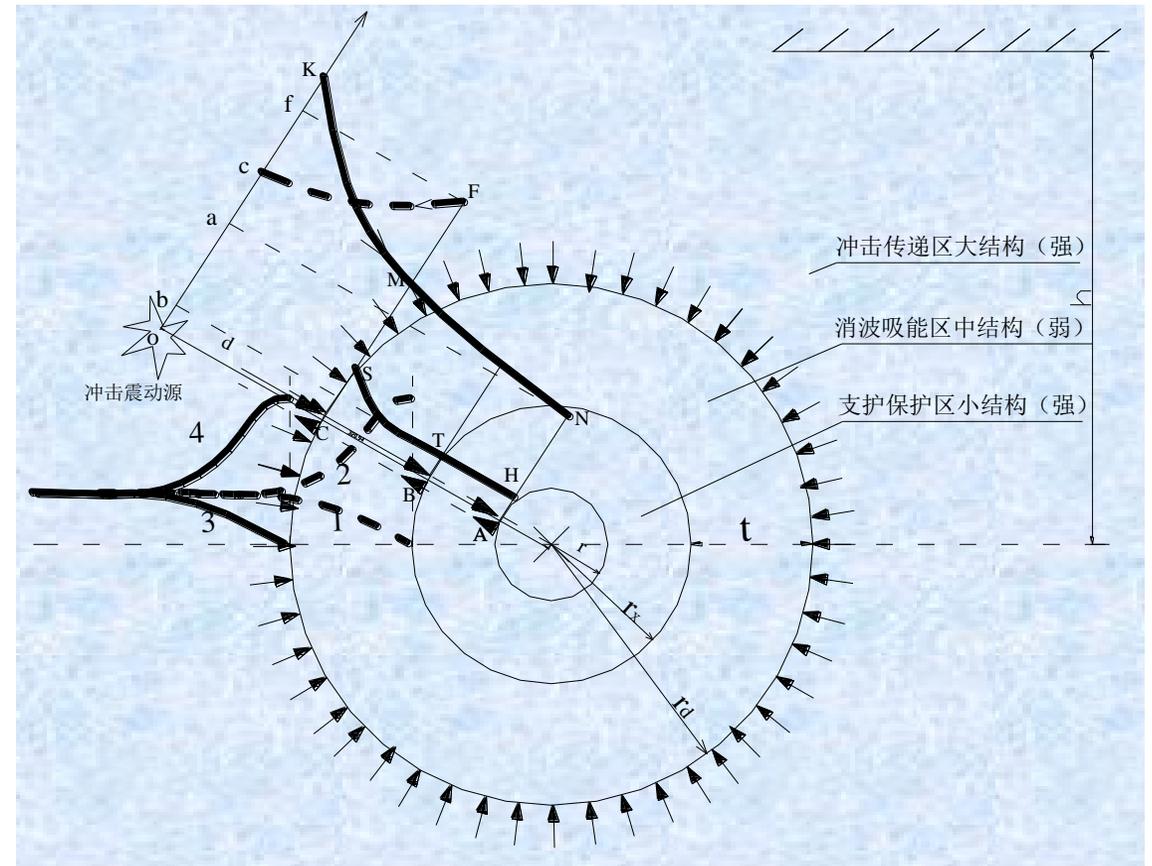
CISM

State Key Laboratory
of Coal Resources and Safe M



□ 巷道围岩的强弱强结构效应 (2006)

- 围岩强度：强、弱、强
- 围岩变形：小、大、小
- 能量耗散：小、大、小
- 冲击应力波衰减吸收效应
- 应力集中程度降低，高峰向深部转移



3.2) 强弱强结构降压吸波效应



□ 巷道围岩的强弱强结构效应 (2006)

$$\sigma_d \cdot (d - r - t_{AB})^{-\eta} + \gamma h \left(1 - \frac{r^2}{(r + t_{AB})^2}\right) > \sigma_{ZAB}$$

- 减少外界震源扰动载荷 σ_d
- 设置弱结构，使得波传播的能量衰减指数增加 η
- 提高支护强度 σ_{ZAB}



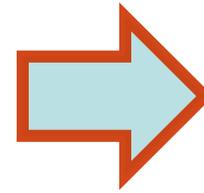
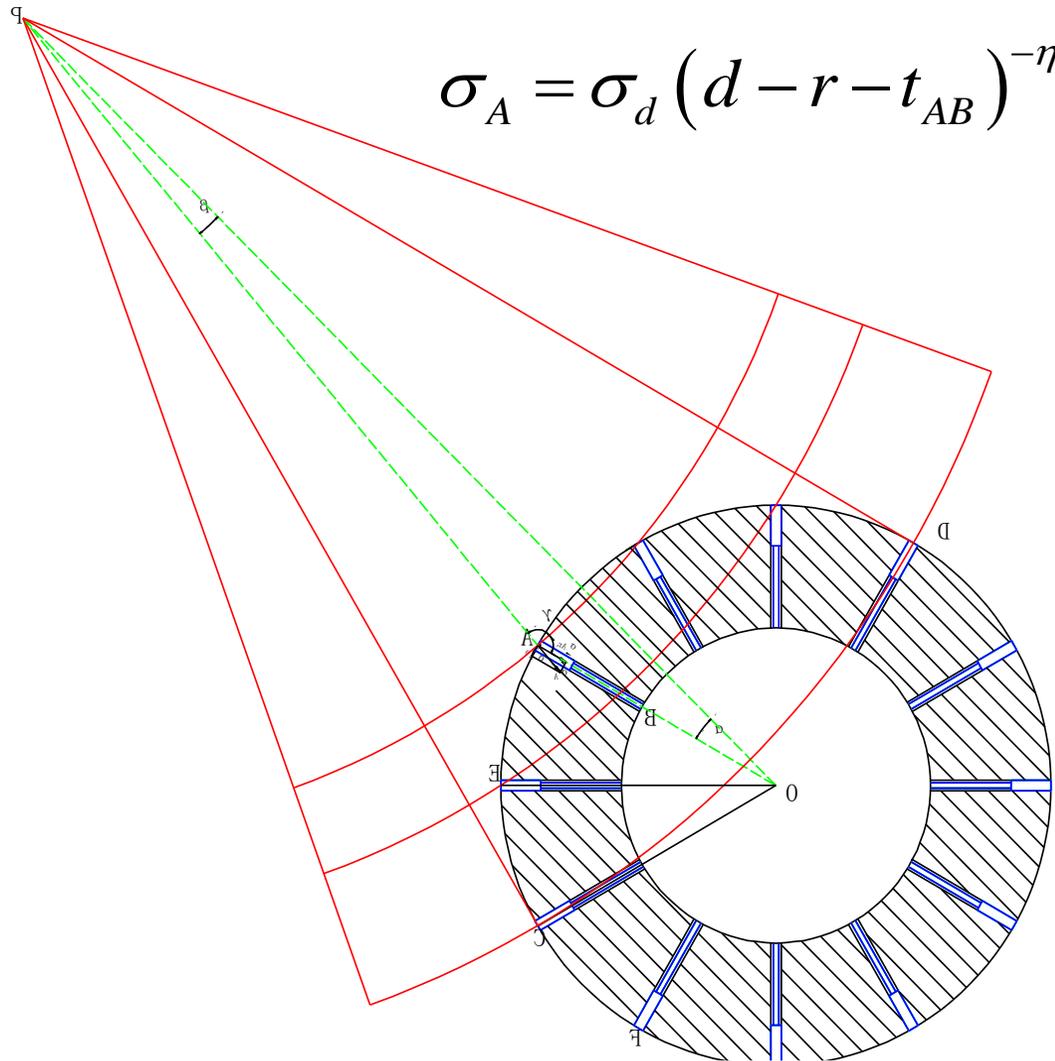
3.3) 支护体的抗冲击效应



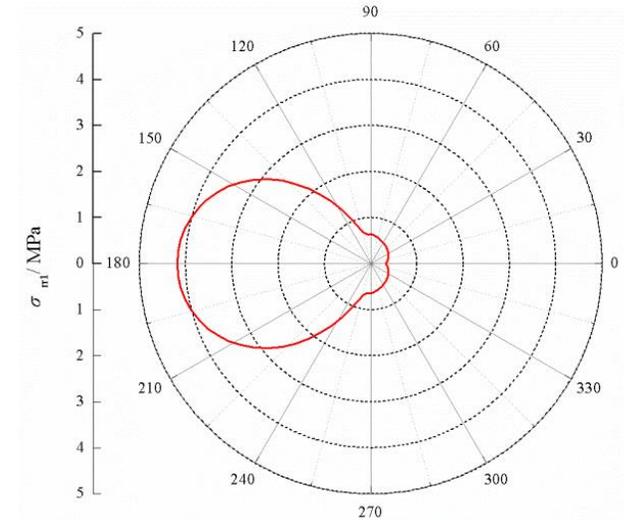
State Key Laboratory
of Coal Resources and Safe Mining



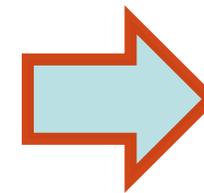
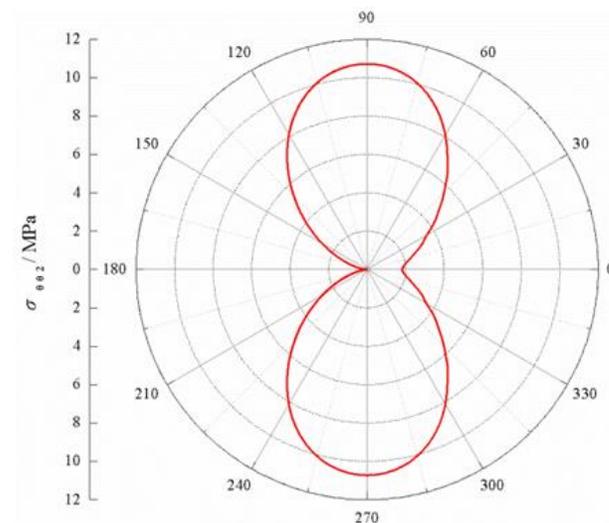
冲击动载对巷道支护的作用效应



径向应力 ($r = b$)



环向应力 ($r = a$)



3.3) 支护体的抗冲击效应



CISM

State Key Laboratory
of Coal Resources and Safe M



□ 巷道支护防冲系统

- ✓ 一级锚网索支护
- ✓ 二级锚网索+充填结构+“O”型棚支护
- ✓ 三级锚网索+充填结构及“O”型棚+门式支架支护



一级支护现场效果



二级支护现场效果



三级支护现场效果