

**第一届全国煤矿冲击地压防治学术大会**

# **煤矿冲击地压巷道三级吸能防冲支护 设计方法**

**汇报人：王爱文、潘一山、肖永慧、徐连满**

**辽宁工程技术大学、辽宁大学**

**2020-12-05**

## 一、背景

## 二、冲击地压巷道围岩结构特征

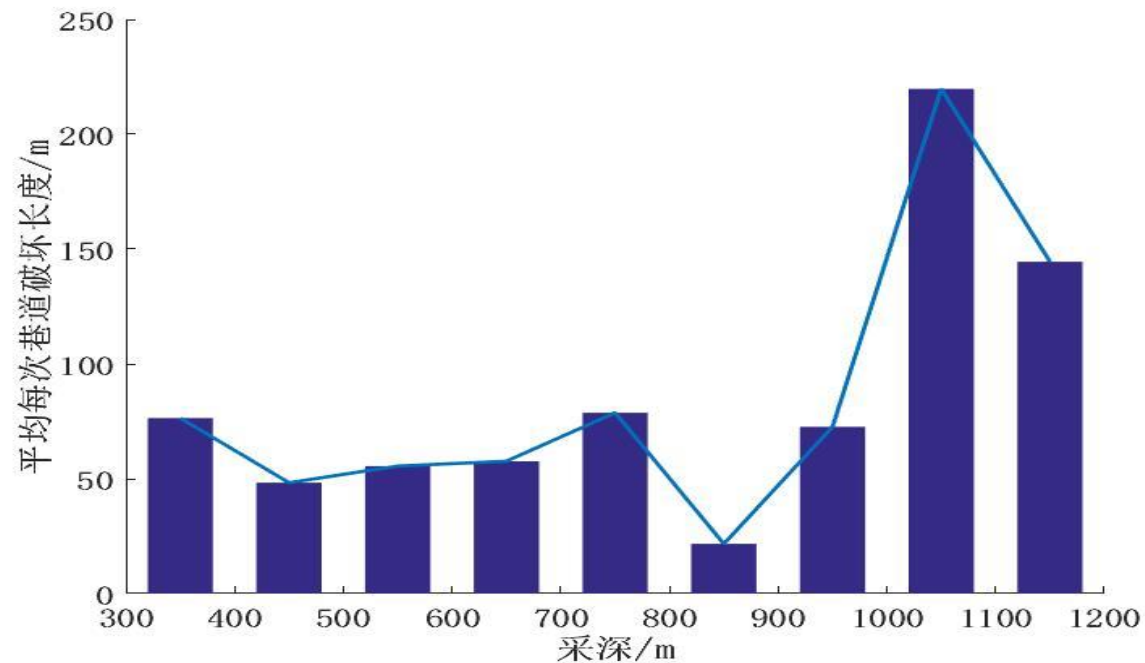
## 三、冲击地压巷道三级吸能支护强度计算

## 四、冲击地压巷道三级吸能支护能量核算

## 五、结论与展望

# 一、背景

冲击地压是煤矿重大动力灾害之一。冲击地压发生时，井下几米至几百米的巷道或采煤工作面瞬间被摧毁，大量煤体和岩石被突然抛出，造成支架折损、巷道堵塞、人员伤亡等，产生严重的经济损失。



**巷道支护作为冲击地压防治的最后一道防线，研究意义重大。深部开采冲击地压巷道吸能支护技术与装备 (2017YFC0804205)**

# 一、背景

## 第八十、八十三条

冲击地压危险区域的巷道必须采取加强支护措施，采煤工作面必须加大上下出口和巷道的**超前支护范围与强度**，并在作业规程或专项措施中规定。加强支护可采用单体液压支柱、门式支架、垛式支架、自移式支架等。采用单体液压支柱加强支护时，必须采取防倒措施。

冲击地压巷道**严禁采用刚性支护**，要根据冲击地压危险性进行支护设计，可采用抗冲击的锚杆（锚索）、可缩支架及高强度、抗冲击巷道液压支架等，**提高巷道抗冲击能力**。



国家煤矿安全监察局  
National Coal Mine Safety Administration

中华人民共和国中央人民政府  
中华人民共和国应急管理部

请输入关键字

首页 机构 新闻 公开 服务 互动

首页 > 政府信息公开 > 法定主动公开内容 > 通知公告

2019-05-15 11:58 来源：煤监局科技装备司 字体：【大 中 小】 打印 分享

国家煤矿安监局关于  
加强煤矿冲击地压防治工作的通知

煤安监技装〔2019〕21号

### 二、强化冲击地压矿井巷道支护

4. **合理选择巷道支护形式与参数**。厚煤层沿底托顶煤掘进的巷道选择锚杆锚索支护时，锚杆直径不得小于22毫米、屈服强度不低于500兆帕、长度不小于2200毫米，必须采用全长或加长锚固，锚索直径不得小于20毫米，延展率不小于5%，金属网护表，托盘强度与支护系统相匹配。倾角大于25°的沿顶掘进巷道，同时必须增加锚索支护。煤层埋藏深度超过800米的厚煤层沿底托顶煤掘进的巷道遇顶板破碎、淋水、过断层、过老空区、高应力区时，应当采用锚杆锚索和可缩支架（包括可缩性棚式支架、单体液压支柱和顶梁、液压支架等，下同）复合支护形式加强支护，并进行顶板位移监测，防止冲击地压与巷道冒顶复合灾害事故发生。

5. **加强采掘工作面支护**。具有冲击危险的采煤工作面安全出口与巷道连接处超前支护范围不得小于70米，综采放顶煤工作面超前支护范围不得小于120米，以及以上冲击危险区域的采煤工作面安全出口与巷道连接处超前支护范围不得小于120米。掘进工作面后方具有中等及以上冲击危险的区域应当再采用超前支护。

# 一、背景

## ➤ 冲击地压巷道支护

冲击地压巷道动力破坏的本质在于：巷道支护围岩系统存在远场能量动力输入。现有防冲技术与装备聚焦冲击前控制冲击地压不发生，无法有效解决深部高应力与强扰动带来的高能量突然释放问题，冲击后巷道围岩及支护瞬间严重破坏。

 <p>传统防控理论</p>	 <p>巷道变形严重</p> <p>传统卸压技术</p>	 <p>U型钢破坏</p> <p>支架破坏</p> <p>普通支护装备</p>
<p>聚焦冲击前控制冲击地压不发生、不考虑支护作用及冲击后如何控制</p>	<p>关注近场围岩卸压、忽略远场动载能量输入 冲击后巷道变形严重</p>	<p>锚杆（索）失效破断 U型钢架可缩性不稳定 支架强力支护不吸能</p>



# 一、背景

## ➤ 冲击危险巷道支护设计原则

冲击危险巷道支护要点：**防冲支护范围**；（超前支承应力影响范围）；**防冲支护能力**；（考虑应力、考虑能量）；**防冲支护方式**（巷道断面的形状、支架自身的稳定性、支架对围的适用性）

□ 强度原则（支护应力匹配动静叠加应力）

□ 能量原则（吸能能量大量释放能量）

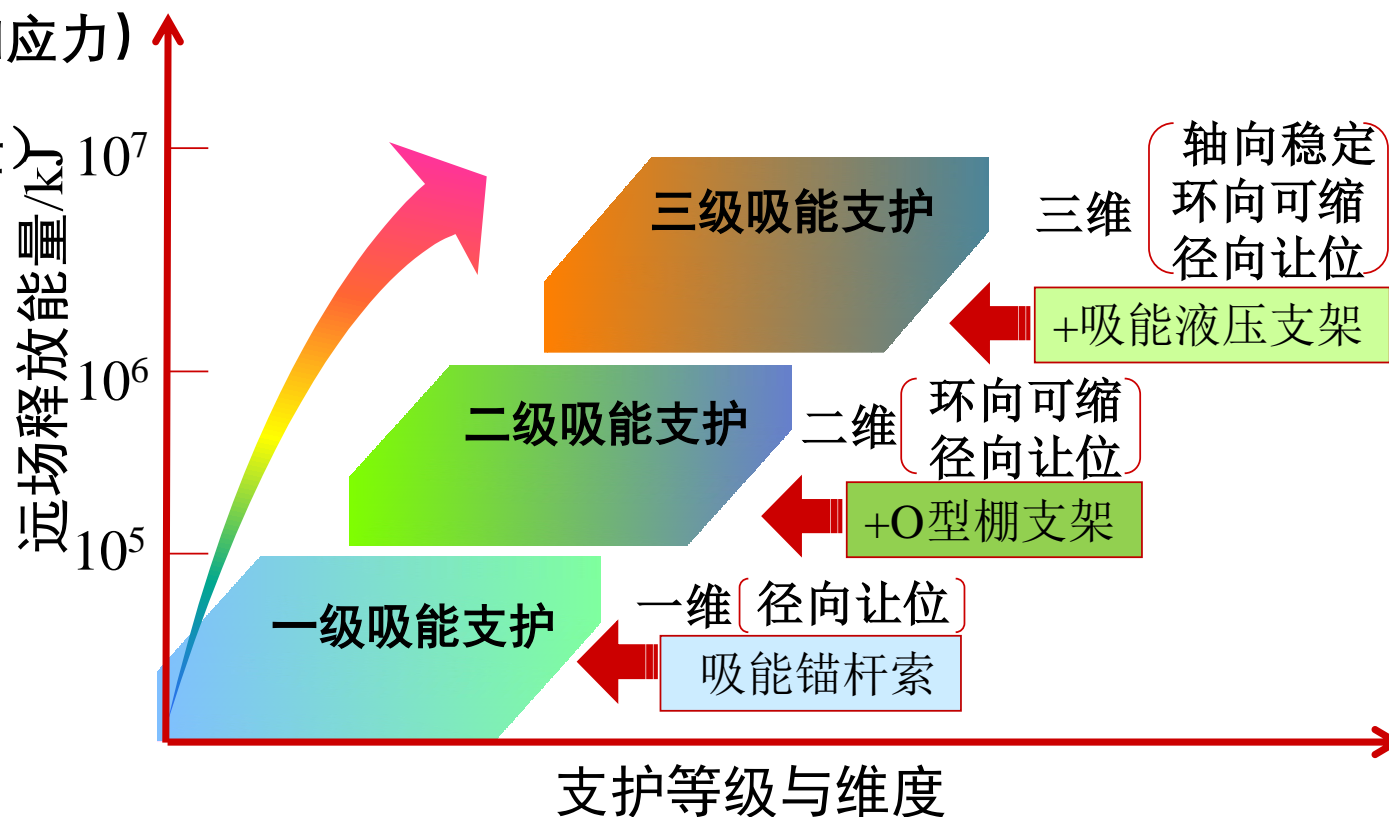
□ 支护-卸压耦合作用原则

□ 锚杆锚索主动支护优先原则

□ 全断面主-被动联合支护原则

□ 巷道支护结构整体稳定性原则

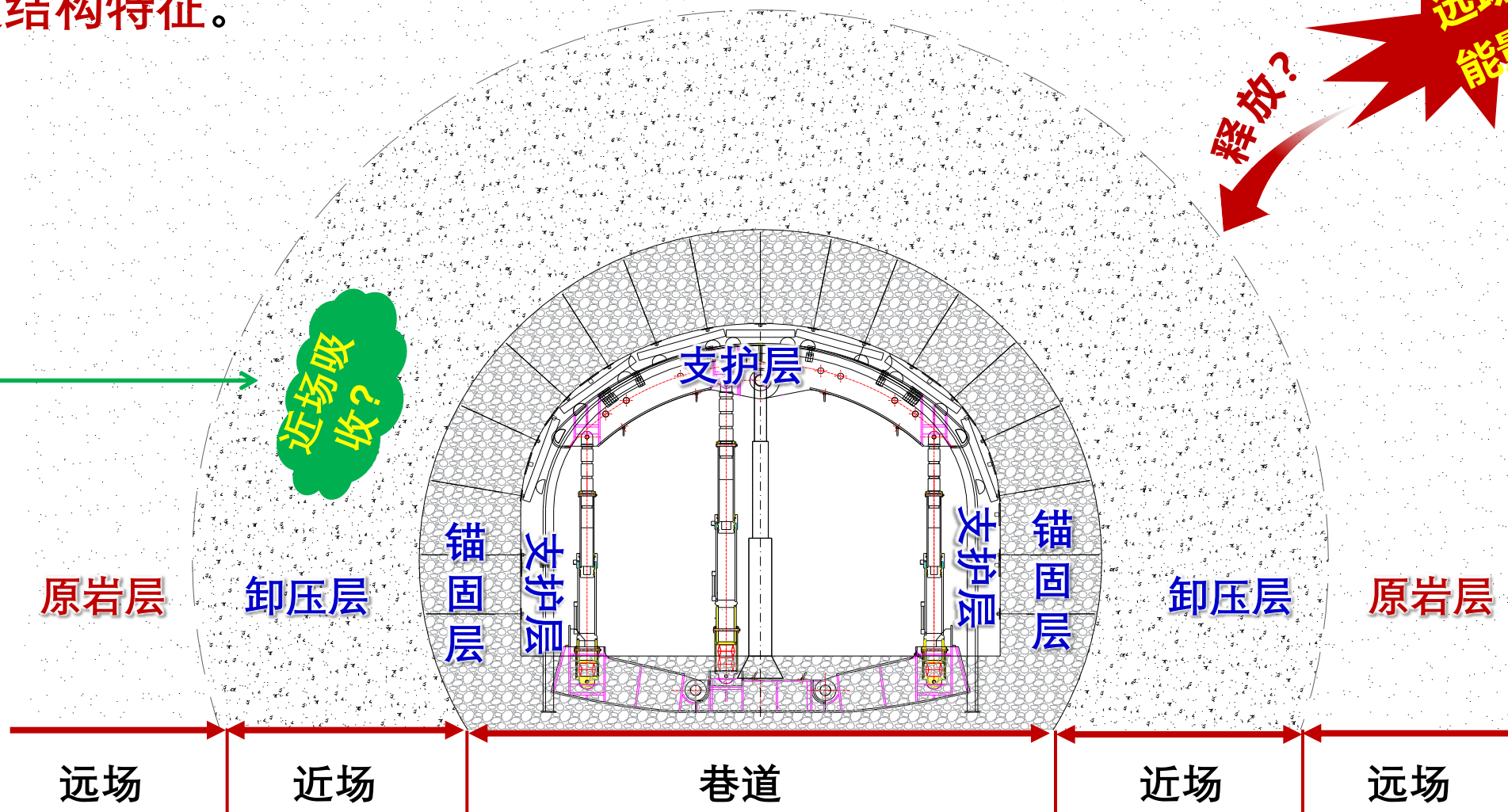
□ 经济性原则



## 二、冲击地压巷道围岩结构特征

冲击危险巷道，在支护与卸压工程的双重作用下巷道围岩形成以巷内**支护层**、**锚固层**、**卸压层**以及**原岩层**为主多层结构，造成巷道围岩体呈现显著的**梯度结构特征**。

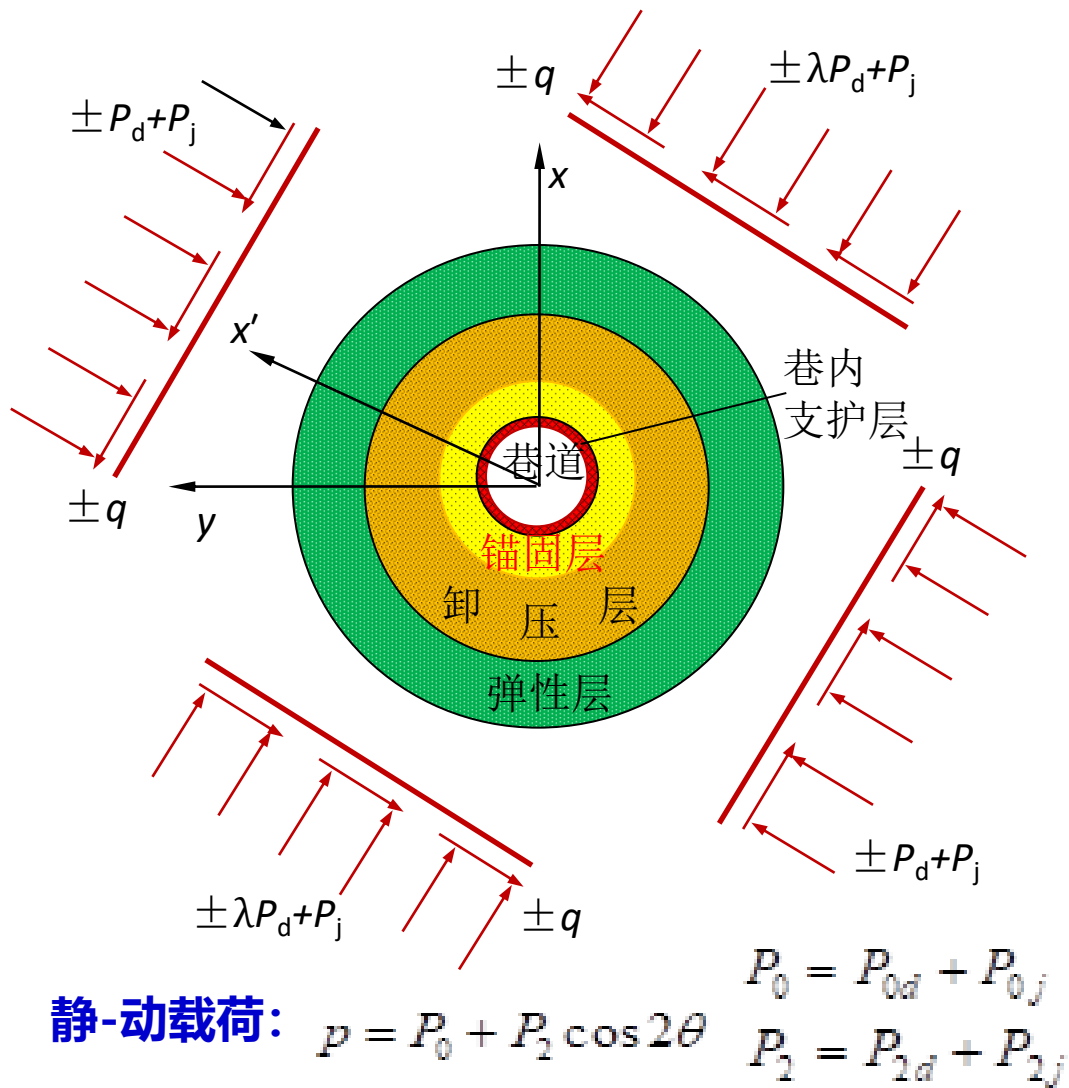
• 钻孔  
• 注水  
• 爆破



• 设计  
• 掘进  
• 开采  
• 断层  
• 顶板  
• 向/背斜

# 三、冲击地压巷道三级吸能支护强度计算

## ➤ 动静载荷作用下巷道围岩梯度结构力学型



### 静载荷:

$$\begin{cases} P_j = P_{0j} + P_{2j} \cos 2\theta \\ P_{0j} = \gamma H \frac{1+\lambda}{k+1} \\ P_{2j} = \gamma H \frac{1-\lambda}{2} \frac{3k+1}{6k} \end{cases}$$

### 动载荷:

$$\begin{cases} P^* = \pm (P_{0d} \pm P_{2d} \cos 2\theta) \\ P_{0d} = P_d / 2(1-\mu) \\ P_{2d} = P_d / 2(1-\mu) \cdot \sqrt{(3-4\mu)(1-2\mu)} \end{cases} \quad \begin{cases} \pm P_d = \pm \frac{1}{2\pi} k_e \rho g V_p T_0 \\ \pm Q_d = \pm \frac{1}{2\pi} k_e \rho g V_s T_0 \end{cases}$$

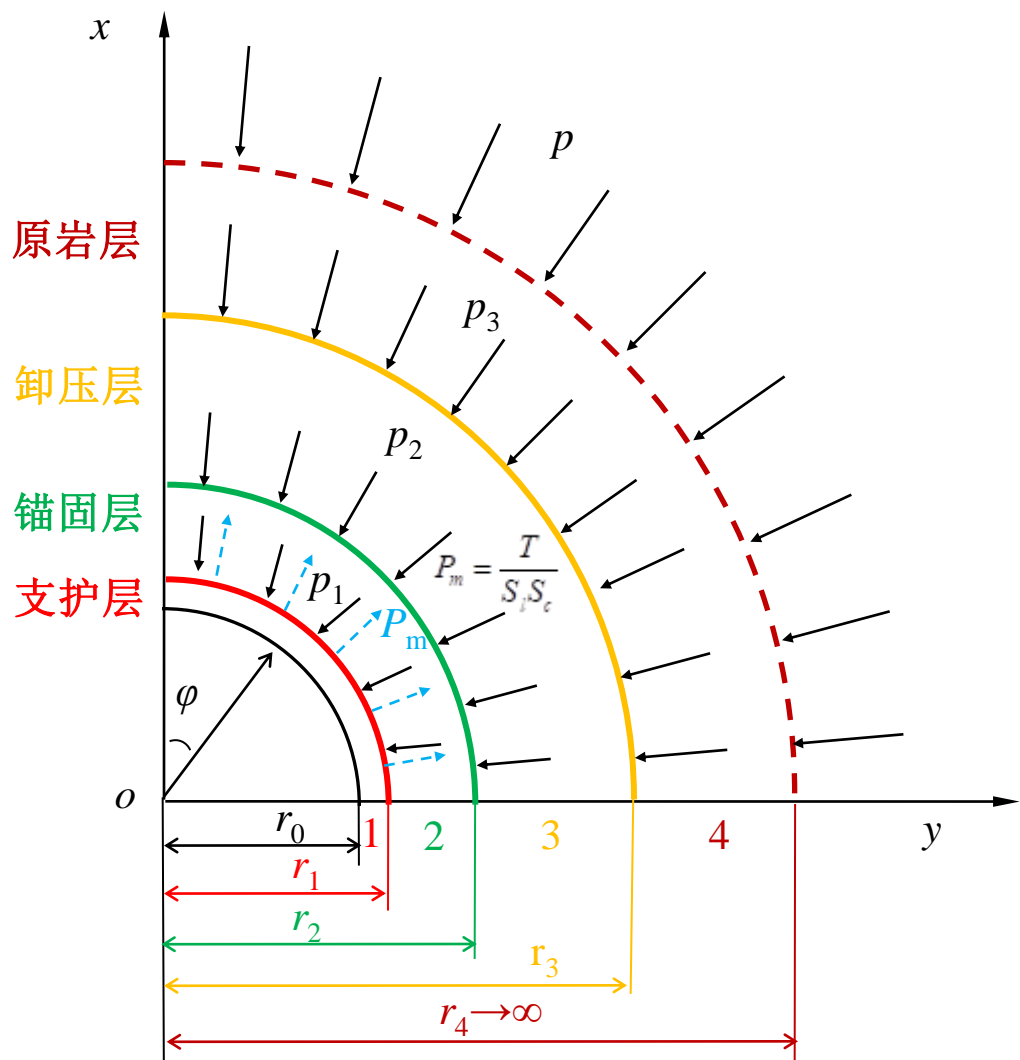
- 围岩初始静应力引起的巷道周边上的应力，用在无限远处作用的等价应力替换。
- 冲击应力波的波长远大于巷道的直径，冲击载荷对巷道支护的作用问题可用拟静力学接触问题求解。

冲击地压等级	冲击地压破坏系数	相当于冲击源距离巷道100m释放能量
微冲击	<0.01	<10 <sup>4</sup> J
弱冲击	0.01~0.1	10 <sup>4</sup> ~10 <sup>6</sup> J
中等冲击	0.1~1	10 <sup>6</sup> ~10 <sup>7</sup> J
强烈冲击	1~2	10 <sup>7</sup> ~10 <sup>8</sup> J
灾害性冲击	>2	>10 <sup>8</sup> J



# 三、冲击地压巷道三级吸能支护强度计算

## ➤ 梯度围岩结构内圆环接触面上应力



$$p = P_0 + P_2 \cos 2\theta$$

$$p_i = P_{0i} + P_{2i} \cos 2\theta$$

载荷传递系数法:  $p \longrightarrow \tilde{p}_3 \longrightarrow p_2 \longrightarrow p_1$  小于支护强度  $p_z$

$$\begin{cases} P_{0(i-1)} = P_{0(i)} K_{0(i)} \\ P_{2(i-1)} = P_{2(i)} K_{11(i)} \end{cases} \quad \begin{cases} K_{0(i)} = \frac{k_i + 1}{2 + \chi_{0(i)}'' (d'_{1(i-1)} - K_{0(i-1)} d'_{2(i-1)})} \\ K_{11(i)} = \frac{2\beta_{1(i)}}{B_i} \end{cases}$$

$$\begin{cases} P_{0(1)} = P_{0(2)} K_{0(2)} \\ P_{2(1)} = P_{2(2)} K_{11(2)} \\ P_{0(2)} = P_{0(3)} K_{0(3)} \\ P_{2(2)} = P_{2(3)} K_{11(3)} \\ P_{0(3)} = P_0 K_{0(4)} \\ P_{2(3)} = P_2 K_{11(4)} \end{cases} \quad p_z = \left( \left( \frac{k_2 \rho g V_P T_0}{4\pi(1-\mu)} + \gamma H \frac{1+\lambda}{k+1} \right) K_{0(4)} K_{0(3)} - \frac{T}{S_r S_c} \right) K_{0(2)}$$

$$+ \left( \frac{k_2 \rho g V_P T_0 \sqrt{(3-4\mu)(1-2\mu)}}{4\pi(1-\mu)} + \gamma H \frac{1-\lambda}{2} \frac{3k+1}{6k} \right) K_{11(4)} K_{11(3)} K_{11(2)}$$

# 三、冲击地压巷道三级吸能支护强度计算

## ➤ 三级吸能支护的强度计算

### (1) 耿村煤矿

锚固层：半径 $r_2$ 为5.9m，剪切模量为2GPa，泊松比为0.31；

$$P_m = \frac{T_{杆}}{S_{l杆} S_{c杆}} + \frac{T_{索}}{S_{l索} S_{c索}} = 0.423$$

巷内支护层：半径 $r_1$ 为3.5m，剪切模量为3GPa，泊松比为0.3；

$$p'_z = \frac{P_u}{2r_0 u_0} + \frac{P_z}{2r_0 u_z} + \frac{P_t}{2r_0 u_t} = 0.59$$

卸压层：半径 $r_3$ 为33.5m，剪切模量为0.1GPa，泊松比为0.35；

原岩层：剪切模量为3.0GPa，泊松比为0.3， $r_4$ 无穷大；

巷道半径 $r_0$ 为3.1，冲击地压破坏系数 $k_e$ 取2；

$$p_z = 0.57 MPa < p'_z = 0.59 MPa$$

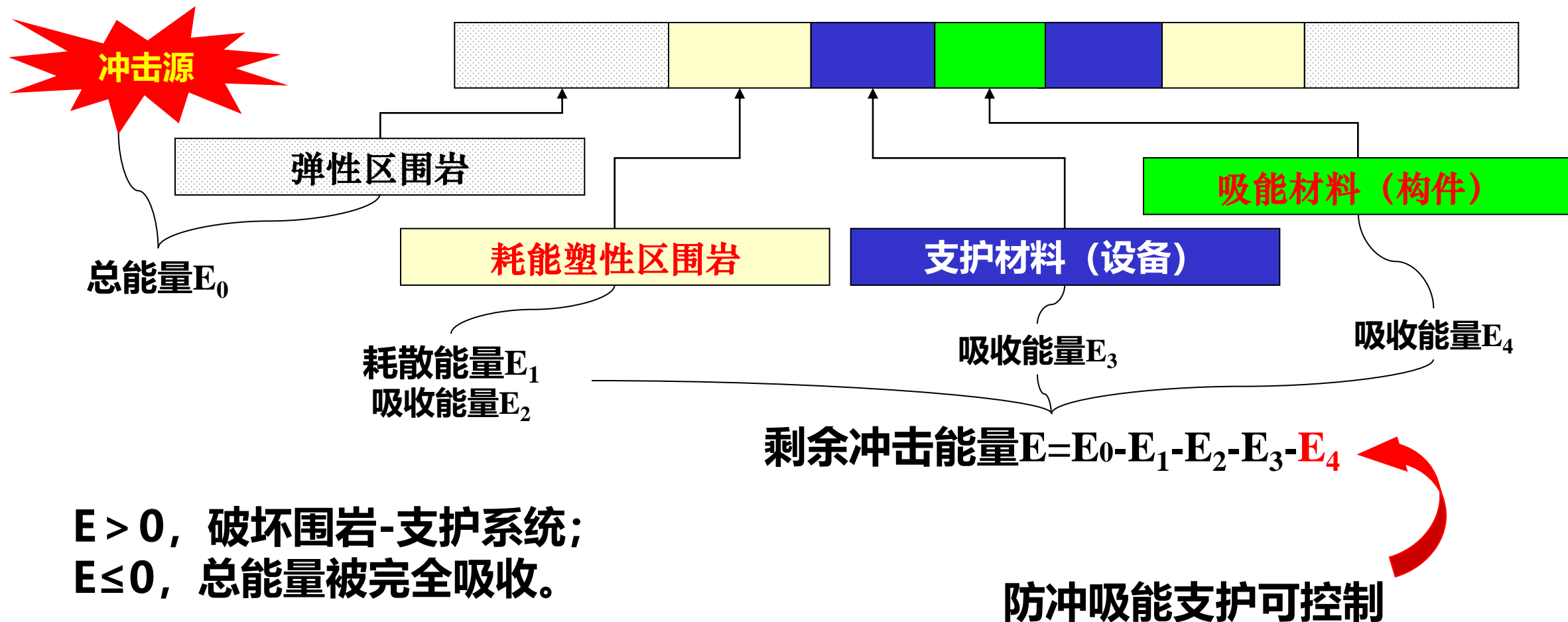
### (2) 龙家堡煤矿

$$p_z = 0.68 MPa < p'_z = 0.69 MPa$$

参数 <sup>↵</sup>	梯度围岩结构内各个特征层参数 <sup>↵</sup>			
	各层编号 <sup>↵</sup>			
	支护层 $i=1$ <sup>↵</sup>	锚固层 $i=2$ <sup>↵</sup>	卸压层 $i=3$ <sup>↵</sup>	弹性层 $i=4$ <sup>↵</sup>
$k_i$ <sup>↵</sup>	1.80 <sup>↵</sup>	1.76 <sup>↵</sup>	1.60 <sup>↵</sup>	1.80 <sup>↵</sup>
$\chi''_{0(i)}$ <sup>↵</sup>	/ <sup>↵</sup>	2.43 <sup>↵</sup>	0.03 <sup>↵</sup>	0.96 <sup>↵</sup>
$c_i$ <sup>↵</sup>	1.27 <sup>↵</sup>	2.84 <sup>↵</sup>	32.24 <sup>↵</sup>	/ <sup>↵</sup>
$D_i$ <sup>↵</sup>	0.01 <sup>↵</sup>	2.26 <sup>↵</sup>	11725.48 <sup>↵</sup>	/ <sup>↵</sup>
$d'_{1(i)}$ <sup>↵</sup>	3.02 <sup>↵</sup>	4.16 <sup>↵</sup>	21.34 <sup>↵</sup>	/ <sup>↵</sup>
$d'_{2(i)}$ <sup>↵</sup>	2.80 <sup>↵</sup>	2.76 <sup>↵</sup>	2.60 <sup>↵</sup>	/ <sup>↵</sup>
$b_{1(i)}$ <sup>↵</sup>	4.68 <sup>↵</sup>	44.91 <sup>↵</sup>	24901.28 <sup>↵</sup>	/ <sup>↵</sup>
$b'_{1(i)}$ <sup>↵</sup>	5.53 <sup>↵</sup>	22.25 <sup>↵</sup>	13837.46 <sup>↵</sup>	/ <sup>↵</sup>
$b'_{2(i)}$ <sup>↵</sup>	2.28 <sup>↵</sup>	6.10 <sup>↵</sup>	11758.72 <sup>↵</sup>	/ <sup>↵</sup>
$b_{2(i)}$ <sup>↵</sup>	2.81 <sup>↵</sup>	3.54 <sup>↵</sup>	-18665.04 <sup>↵</sup>	/ <sup>↵</sup>
$\chi''_{(i)}$ <sup>↵</sup>	/ <sup>↵</sup>	88.75 <sup>↵</sup>	0.02 <sup>↵</sup>	0.00 <sup>↵</sup>
$\alpha_{1(i)}$ <sup>↵</sup>	/ <sup>↵</sup>	150.95 <sup>↵</sup>	0.74 <sup>↵</sup>	24.86 <sup>↵</sup>
$\alpha_{2(i)}$ <sup>↵</sup>	/ <sup>↵</sup>	178.52 <sup>↵</sup>	0.79 <sup>↵</sup>	14.26 <sup>↵</sup>
$\beta_{1(i)}$ <sup>↵</sup>	/ <sup>↵</sup>	-90.02 <sup>↵</sup>	0.36 <sup>↵</sup>	18.72 <sup>↵</sup>
$\beta_{2(i)}$ <sup>↵</sup>	/ <sup>↵</sup>	74.02 <sup>↵</sup>	0.66 <sup>↵</sup>	12.21 <sup>↵</sup>
$B_i$ <sup>↵</sup>	/ <sup>↵</sup>	-27244.74 <sup>↵</sup>	-0.21 <sup>↵</sup>	-36.65 <sup>↵</sup>

# 四、冲击地压巷道三级吸能支护能量核算

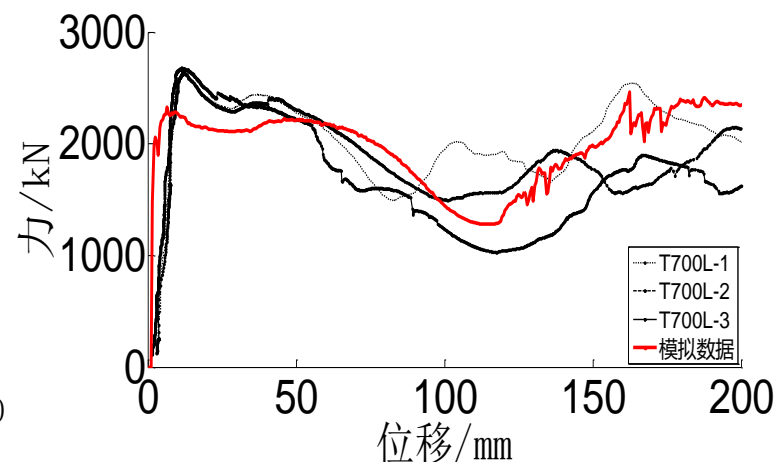
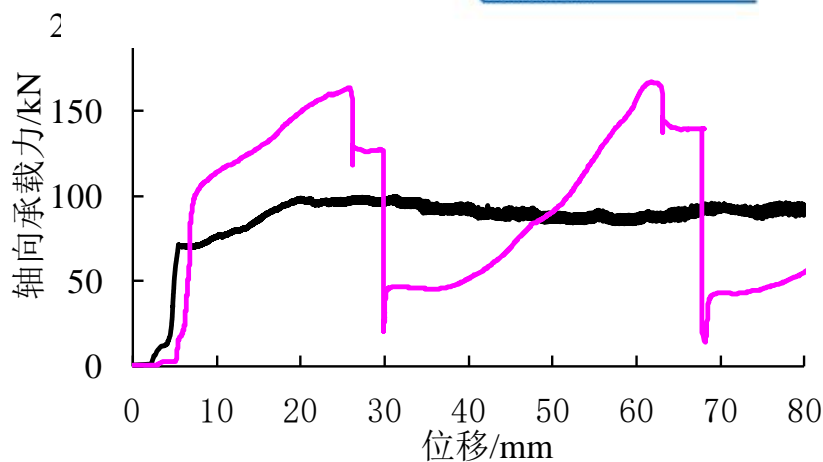
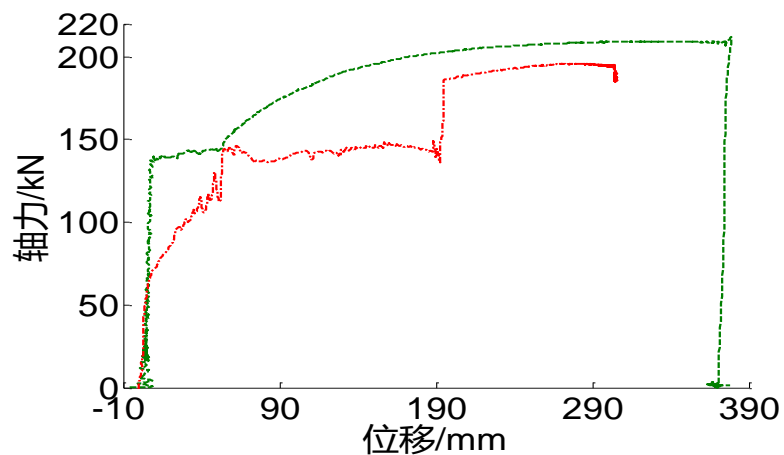
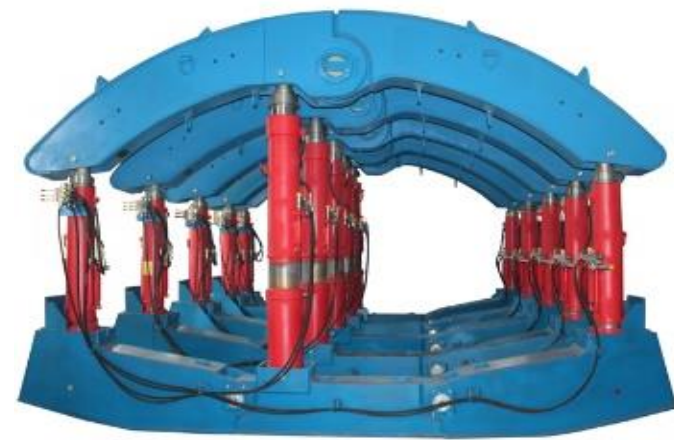
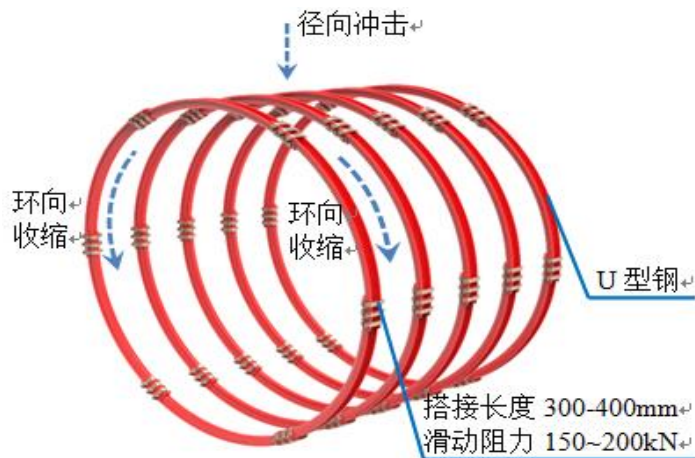
## ➤ 能量守恒



# 四、冲击地压巷道三级吸能支护能量核算

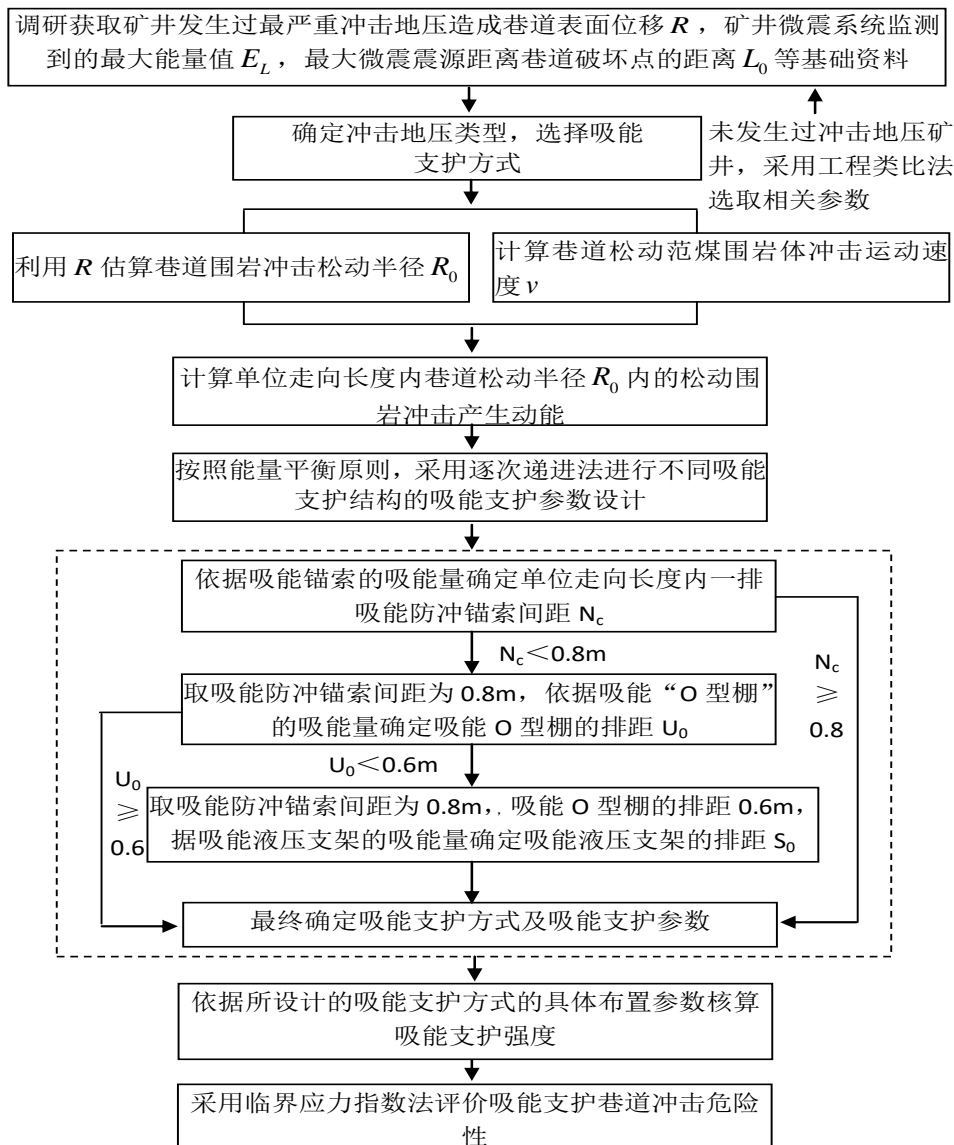
## ➤ 防冲吸能支护装备及力学特性

吸能锚索吸能阻力为**140kN**；单架环向可缩吸能O型棚支架，最大环向收缩量为**1.2m**，吸能量为**120~200kJ**；三个立柱组成的门式吸能液压支架整架支护阻力可达**6000kN**，吸能让位位移可达**200mm**，吸能量可达**10<sup>6</sup>J**。



# 四、冲击地压巷道三级吸能支护能量核算

## ➤ 三级吸能支护能量核算流程



### 1、确定最严重冲击地压震级

$$\lg(L_0 - R_0)v' = 3.95 + 0.57M_L$$

### 2、估算冲击破坏范围

$$R_0 = \frac{R}{\varepsilon}$$

### 3、估算破坏范围内煤岩体抛射动能

$$E_c = \frac{1}{2}Mv^2 = \frac{1}{2} \times 1m \times 5m \times 40m \times$$

#### 一级锚杆索支护参数

$$1.4kg \times 10^3 \times (3.4m/s)^2 = 1618kJ$$

$$\frac{E_c}{E_s} = \frac{1618kJ}{175kJ} \approx 9$$

#### 二级锚杆索支护+棚式支护参数

$$\frac{E_c - 6E_s}{E_U} = \frac{1618kJ - 1050kJ}{200kJ} \approx 3$$

#### 三级锚杆索支护+棚式支护+液压支架参数

$$\frac{E_c - 6E_s - 1.6E_e}{E_U} = \frac{1618kJ - 1050kJ - 320kJ}{800kJ} \approx 0.3$$



## 四、冲击地压巷道三级吸能支护能量核算

### ➤ 效果检验

2015年“12.22”冲击地压发生后无三级防冲支护的巷道，巷道破坏严重，变形1~3m，而2017年“6.10”冲击地压发生后有三级防冲支护的巷道仅变形16cm。防冲液压支架中防冲器产生了让位位移，给巷道围岩提供了变形空间。



2015年“12.22”冲击地压



2017年“6.10”冲击地压



龙家堡煤矿支护效果

地点时间	M <sub>L</sub> 震级	巷道位移/m	巷道支护情况
耿村矿2015.12.22	2.7	1.0-3.0	抬棚支护破坏、巷道冲击破坏
耿村矿2017.06.10	3.0	0.16	防冲支架完好、巷道冲击变形

## 五、结论与展望

---

- 基于冲击危险巷道的梯度结构特征，给出了三级吸能支护的强度计算方法与能量核算方法。
- 提出的防冲支护强度计算方法，尚未考虑具体卸压参数对卸压层内煤岩力学性的影响规律，还应进一步利用该方法，在既定的防冲支护强度条件下讨论卸压参数是否满足矿井防冲需要。



**THANKS**

**感谢各位专家批评指正!!!**