



東南大學
SOUTHEAST UNIVERSITY

研究生讲座报告

基于线性储能规律的煤冲击倾向性指数研究

课程名称: 专业讲座

姓名: 桑阳

学院: 苏州联合研究生院

专业: 岩土工程

学号: 224642

课程老师: 赵学亮

2022 年 9 月 25 日

東南大學講座報告

SOUTHEAST UNIVERSITY

专业： 岩土工程
姓名： 桑阳
学号： 224642

讲座名称： 基于线性储能规律的煤冲击倾向性指数研究

演讲人： 宫凤强 讲座日期： 2022 年 9 月 25 日 讲座地点： 线上

一、 研究目的和背景

深部煤矿越来越多，冲击地压灾害越来越严重。冲击地压是指承受高压的脆性煤体极限平衡状态破坏而向自由空间突然释放能量的动力现象（宋振骐，等，1985）。煤体弹性变形能的瞬时释放，往往危害巨大。冲击倾向性反映煤产生冲击破坏能力的固有属性，是冲击地压预测和防御的基础。冲击倾向性指数是评价煤倾向性的具体指标。

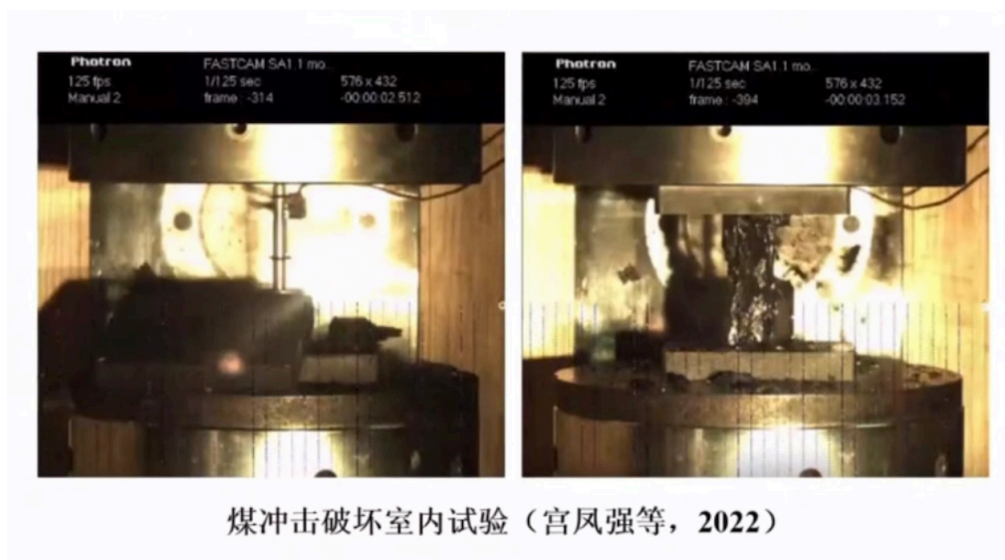


图 1: 煤爆试验

现有的冲击倾向性指数是基于能量、破坏时间、强度、模量等方面提出的。（GB/T2521 7.2-2010）建议利用动态破坏时间、弹性能指数、冲击能量指数和煤单轴抗压强度四个指数来综合判定煤的冲击倾向性。

现有冲击倾向性指数的特点：

1. 现有的指数仅考虑煤样受压的峰前阶段或者峰后阶段，没有考虑煤样破坏的全过程一逻辑上欠通顺。
2. 多项指数为无量纲的比值，无法定量刻画煤冲击能量大小-表达上欠清晰。
3. 现有冲击倾向性指数跟煤破坏状态无关，而且缺少根据煤破坏特征的室内试验冲击倾向性等级标准，无法进行统一验证-验证上欠充足。

4. 利用煤破坏状态去验证上述指数，判别结果往往和实际破坏状态不符合，不能准确反映冲击倾向程度—结果上欠准确。

冲击地压是一种煤体能量释放的动力现象。考虑煤样受力全过程中能量输入、储存、耗散、破坏消耗、剩余的角度，本讲座提出一种以绝对能量作为判别指标的冲击倾向性指数，使判据更为精确和符合实际。

编号	冲击倾向性指数	冲击倾向性分类		
		无	弱	强
1	弹性能量指数 W_{ET}	< 2	2-5	≥ 5
2	能量冲击指数 A_{CF}	< 1	1-5	> 5
3	冲击能量指数 K_E	< 1.5	1.5-5	> 5
4	动态破坏时间 $D_T(\text{ms})$	> 500	50-500	≤ 50
5	单轴抗压强度 $\sigma_c(\text{MPa})$	< 7	7-14	≥ 14
6	刚度冲击性指数 K_{CF}	> 1	< 1	
7	模量指数 K_λ	< 1.11	1.11-3.51	> 3.51
8	冲击能量速度指标 $W_{ST}(\text{s}^{-1})$	< 3	3-100	> 100
9	修正冲击能指数 W_{CP}'	< 1	1-2	> 2
10	剩余能量释放速度指数 $W_T(\text{kJ}\cdot\text{s}^{-1}/\text{m}^3)$	< 1	1-2	> 2
11	有效冲击能量速度指数 $W_{DT}(\text{kJ}\cdot\text{s}^{-1}/\text{m}^3)$	< 5	5-25	> 25
12	峰值能量冲击指数 A_{CF}'	< 2	2-5	> 5
13	峰值弹性能指数 W_{ET}^p	< 2	2-5	> 5
14	峰值弹性应变势能 $PES^p(\text{kJ}/\text{m}^3)$	< 100	100-300	> 300
15	剩余弹性能指数 $C_{EF}(\text{kJ}/\text{m}^3)$	< 15	15-30	> 30
16	有效弹性能释放速率指数 $K_{ET}(\text{MPa}\cdot\text{s}^{-1})$	< 0	0-3000	> 3000

图 2: 国标冲击指数因素

二、 研究内容和步骤

1. 理论分析方法

(1) 获取峰值弹性应变能的研究思路：

对同种煤取不同的煤样，分别进行一次加卸载试验，获得多组不同输入应变能下煤样弹性应变能、耗散应变能的具体数值，考察三者之间的比例关系，可得到峰值弹性应变能。

(2) 试验设备：

试验设备采用 INSTRON 1346 电液伺服材料试验机，通过高速摄影仪记录煤样的破坏过程以及弹射特征

(3) 试验思路：

先进行常规单轴试验，获取抗压强度 G_e ，并设置多个不同的卸载应力水平 ($=0.1$ 、 0.3 、 0.5 、 0.7 和 $0.9G_c$)，然后对多个煤样进行单轴压缩一次加卸载试验。试验中对不同的煤样先加载到设置的卸载应力水平，然后进行卸载，再次加载至试样破坏。一次加卸载试验中，初次加载线和卸载线

之间并不重合，说明煤样加载过程中存在能量耗散；再次加载经过卸载点后沿初次加载线方向发展，说明一次加卸载过程不改变煤样在压缩过程中的整体受力状态。

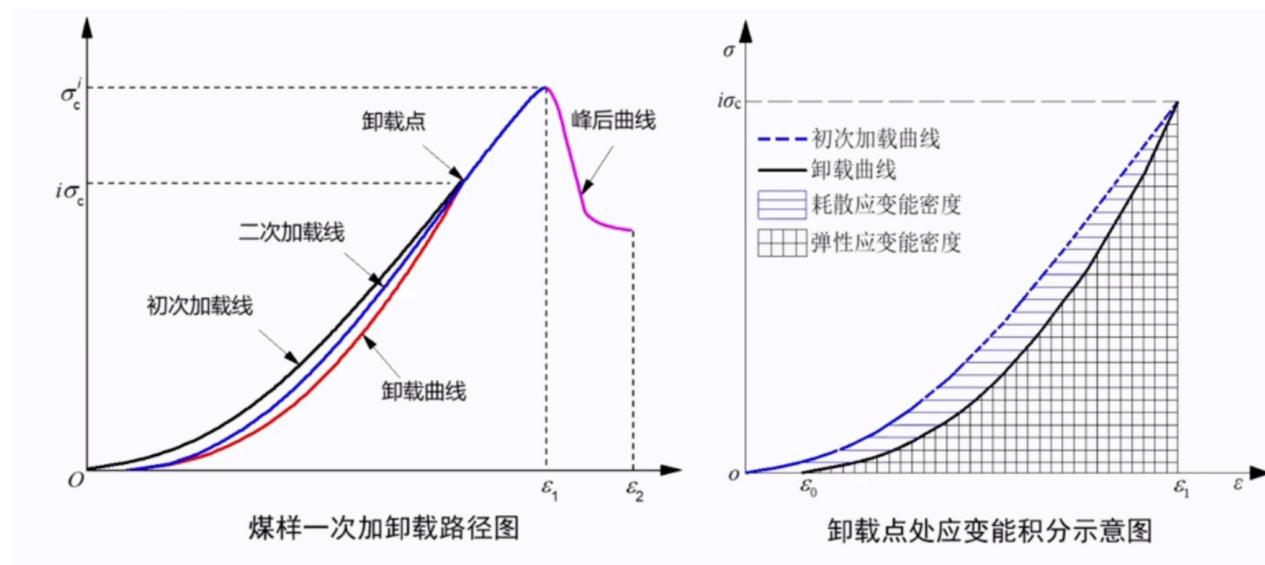


图 3: 峰值应变能曲线

(4) 线性储能规律

五种煤的弹性应变能与输入应变能之间均符合线性储能规律：

$$U_k^e = a \times U_k^o + b \approx U_k^e = a \times U_k^o \quad (1)$$

煤样的弹性应变能与输入应变能之间的比例 a 定义为煤压缩储能系数、 $(1-a)=c$ 定义为煤压缩耗能系数。 b 值与 a 值相比，占 0.026 0.059，可以忽略不计。

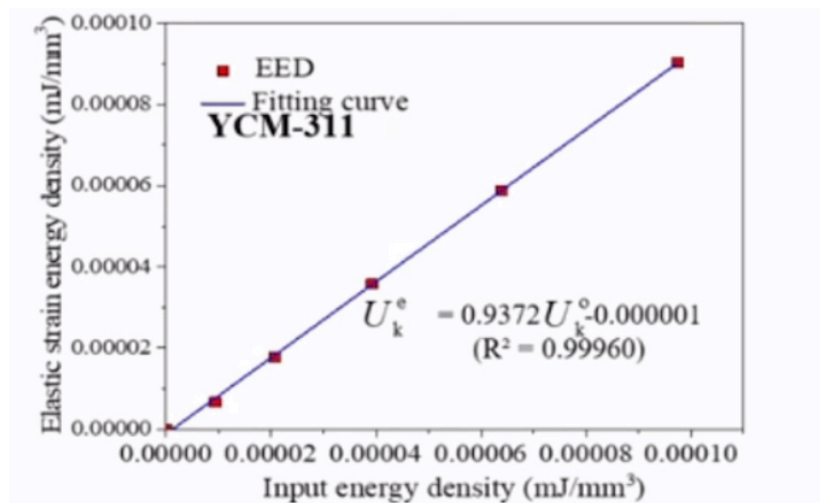


图 4: 煤炭线性储能

2. 研究过程

(1) 试验过程：

利用高速摄像机拍摄煤样的破坏过程。煤样在微秒级的时间内爆裂，大量的碎片和煤粉四射飞出，很难追踪到每一块碎片的运动轨迹，因此很难利用动能公式准确计算出煤样破坏时释放的能量。所以这里定义远场弹射质量比，远场弹射质量比 F ：掉落在设备压盘范围（近场范围）外的煤片质量与脱离试样的煤片质量的比值。

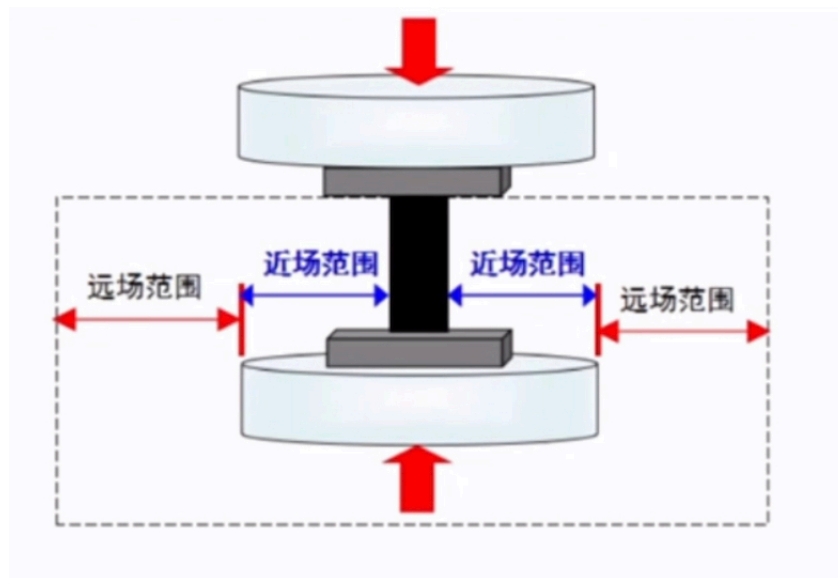


图 5: 远场弹射质量比

根据试验现象，借助高速摄像纪录，采取定性分析方法，从煤样破裂及运动特征、声学特征、煤碎片分布特征和远场弹射质量比 4 个方面，将煤冲击倾向性划分为无、弱、强 3 个等级。

(2) 剩余弹性能指数和远场弹射质量比的对应关系

远场弹射质量比和剩余弹性能指数之间在冲击倾向性类别结果上一一对应，两者之间的对应关系指的是无、弱、强冲击倾向性区之间不存在交叉区域。此外所有的数据点都落在了两者对应的不同冲击倾向性的交叉区域内，这表明剩余弹性能指数的判别结果与依据煤的实际冲击倾向性一致。

三、 研究结果与分析

1. 现有冲击倾向性指数存在误判原因在于：有些指数没有考虑煤样破坏的全过程；或者为无量纲的比值形式，无法定量刻画煤样破坏时释放出的冲击能量大小，属于冲击倾向性间接指数，无法和煤样释放动能直接建立联系。

2. 根据 GB/T 25217.2-2010 建议的方法，计算了动态破坏时间、弹性能指数、冲击能量指数、单轴抗压强度四个指数的结果，并根据这些结果利用模糊综合评价方法来综合判定煤的冲击倾向性，将其结果与剩余弹性能指数的判定结果进行对比，结果表明采用模糊综合评价法存在误判，而且对于比例占到 1/3 的煤样无法进行判别。

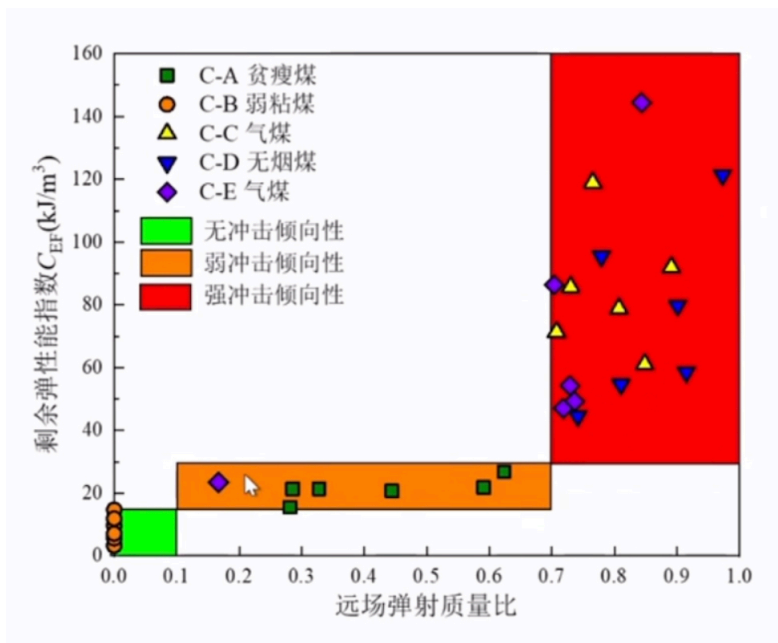


图 6: 远场弹射质量比与剩余弹性能指数关系

3. 本讲座提出了一种基于煤线性储能规律的冲击性倾向指数-剩余弹性能指数，考察了煤炭破坏的全过程曲线，能够清晰的表达动能状态，经过实验验证与煤炭破坏较为符合。