



北京科技大学
University of Science and Technology Beijing

煤巷围岩层状摩擦启滑效应研究



单 位：北京科技大学



汇报人：吕祥锋 教授

2020年12月

汇报提纲

- 一、煤巷围岩启滑机理
- 二、钻屑多参量监测方法
- 三、巷道围岩防控技术



I

煤巷围岩启滑机理

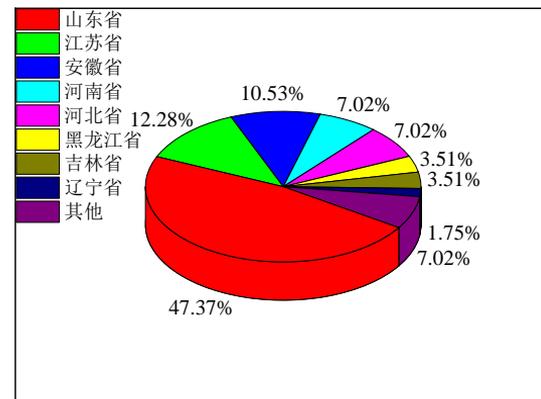


煤巷围岩启滑工程背景

据不完全统计资料显示，目前我国煤矿开采深度超过1000m的煤矿已达到**50余座**，主要分布在**东部**和**东北地区**的山东、河南、安徽、河北、黑龙江、吉林和辽宁等地。

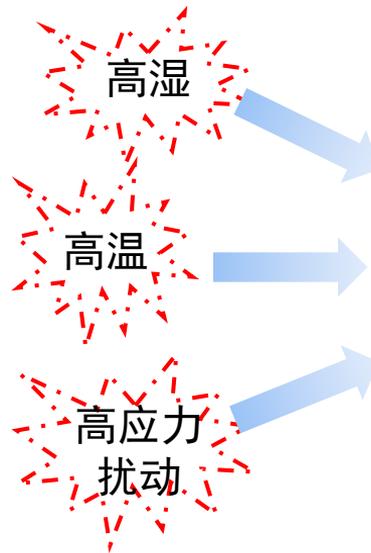
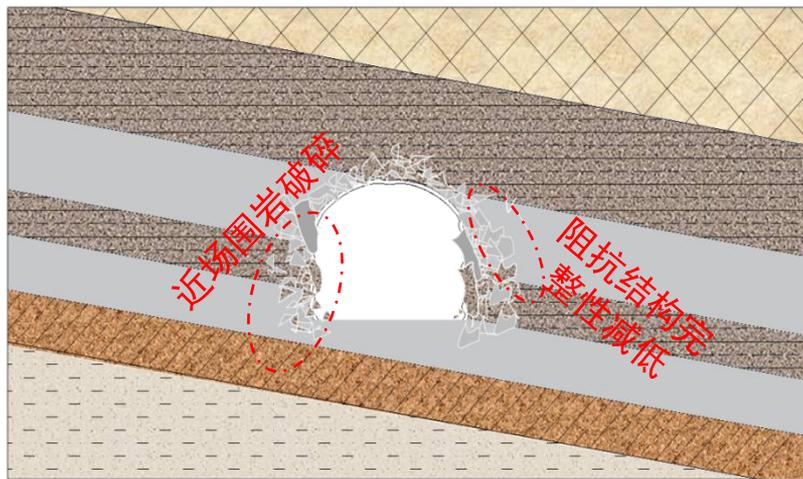
随着煤矿向深部开采，冲击地压造成巷道破坏越来越严重，我国煤矿每年具有冲击地压危险的巷道总长度达1000余公里，巷道冲击地压危害加剧。

省份名称	数量/座
山东省	27
江苏省	7
安徽省	6
河南省	4
河北省	4





煤巷围岩启滑工程环境

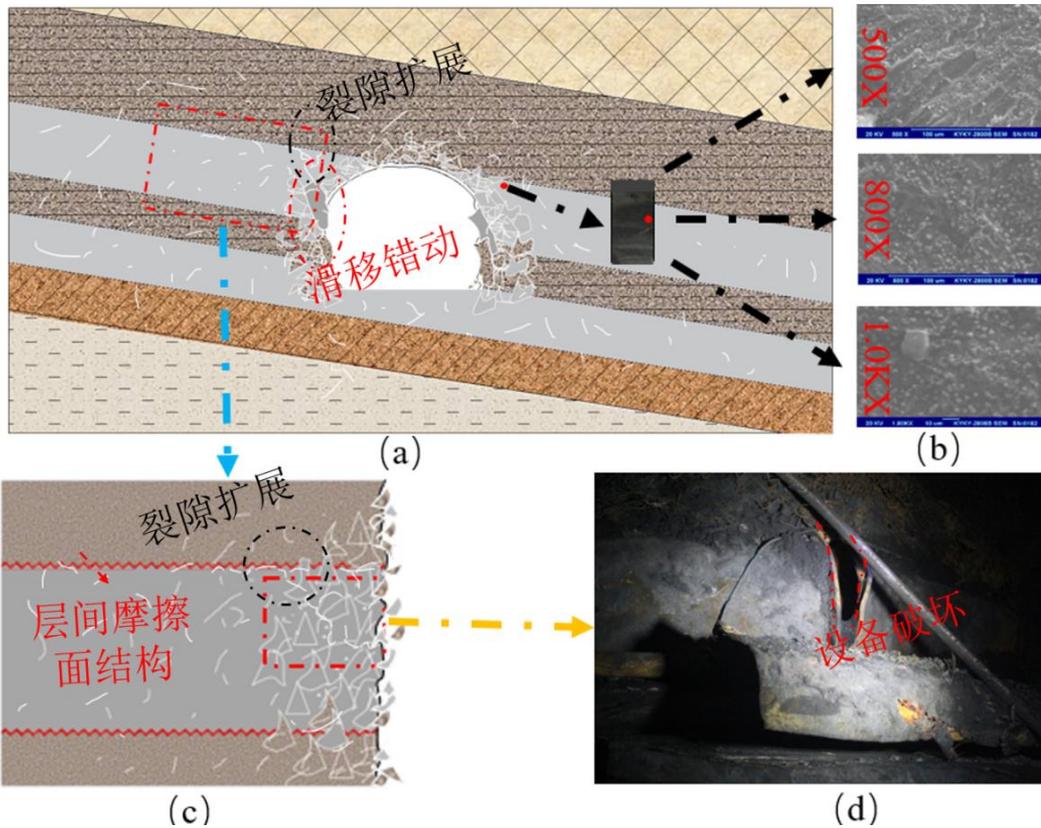


危害

- 岩体**热胀冷缩**破碎，温度**循环缩胀**效应
- 循环**水浸**弱化岩体强度
- 恶化工作环境，影响**工作效率**
- 交互作用，降低浅部**阻抗能力**

高地应力、高湿、高温属于煤层开采的**固有属性**，为影响冲击地压发生的**内部因素**，高扰动环境由于开采活动，造成岩层**循环垮落**以及机械的**频繁扰动**，属于引发冲击地压的**外部因素**。

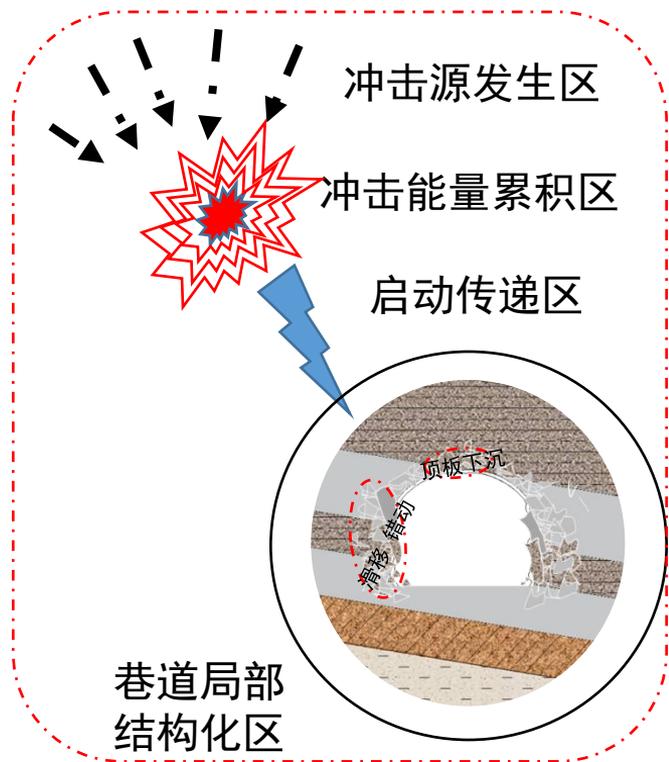
煤巷围岩启滑工程特征



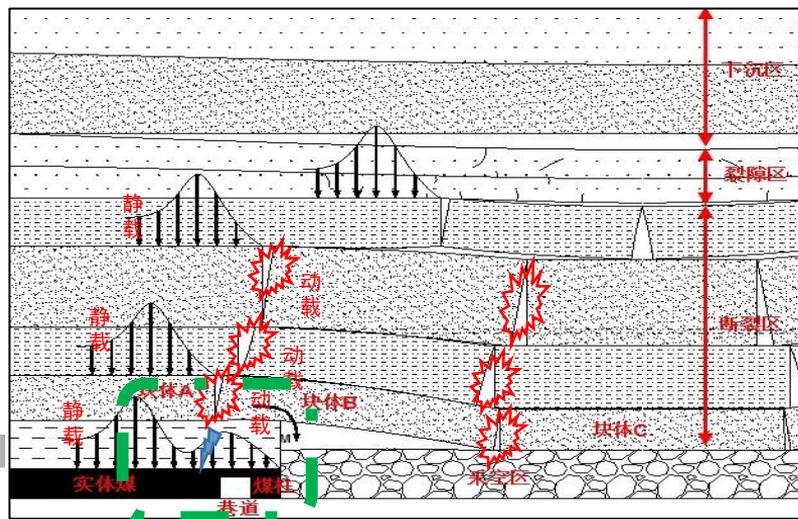
工程特征：

- 岩体结构分布（胶结特征→层间摩擦效应）；
- 应力传递改变（均布载荷→非均质载荷）；
- 应力集中改变（裂隙扩展→滑动错动）；
- 围岩结构损伤，结构自稳能力降低。

煤巷围岩启滑过程



内因+外因

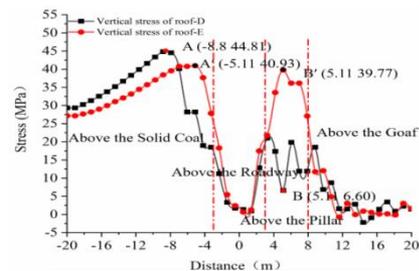
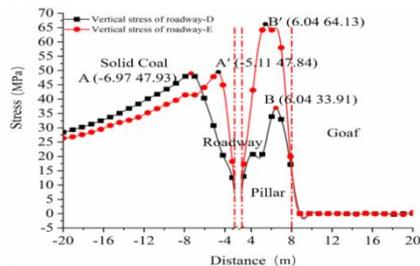
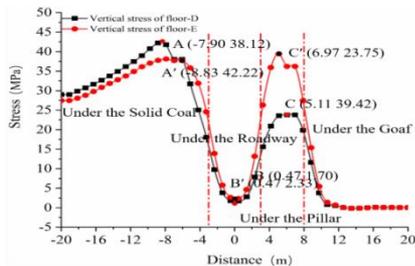


煤巷围岩启滑机理：**（内因）** 巷道局部结构化达到临界状态，**（外因）** 重分布静载和断裂动载耦合交替作用，层状岩体启滑开始，进而导致巷道冲击地压发生。

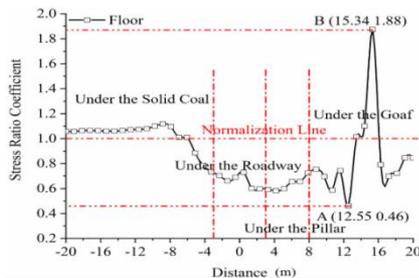


煤巷围岩启滑数值分析

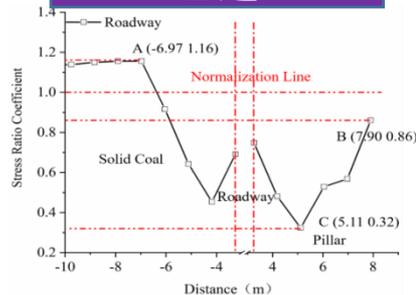
垂直应力分布



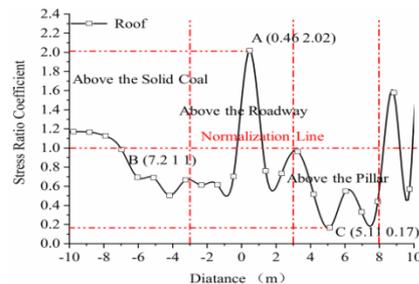
底板



巷道



顶板

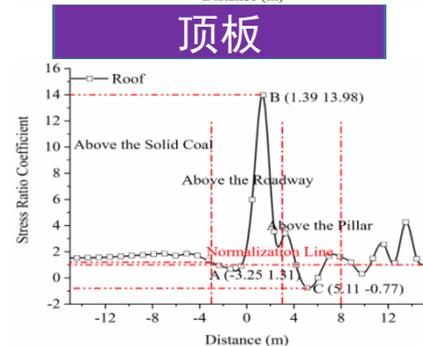
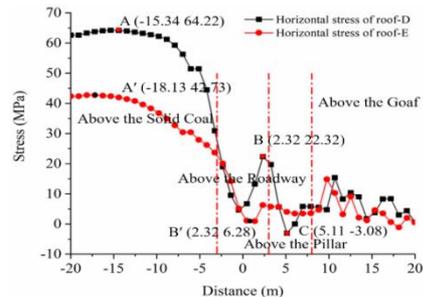
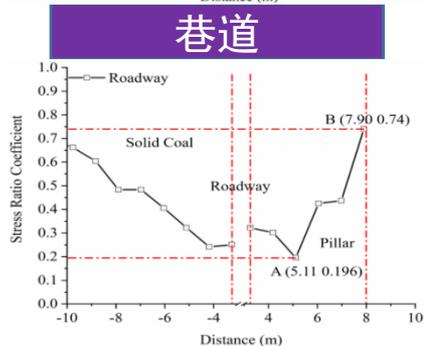
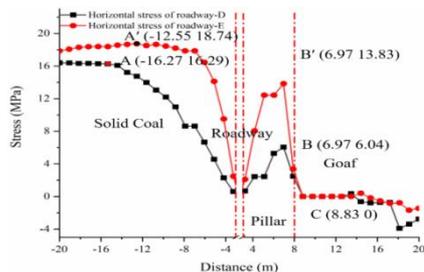
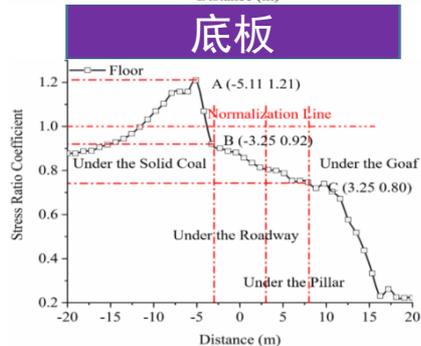
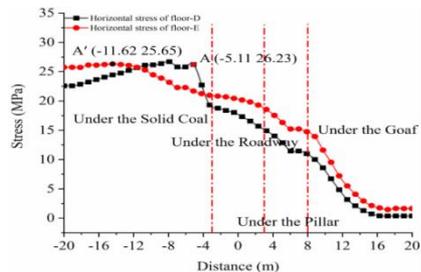


无论是**巷道底板**、**巷道岩层**还是**巷道顶板**在岩体弹性区范围均表现为无摩擦作用应力值大于施加摩擦作用的**应力值**。



煤巷围岩启滑数值分析

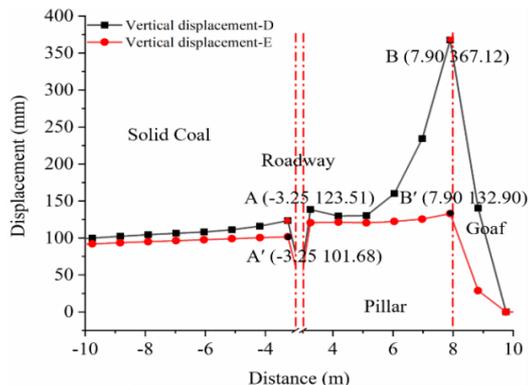
水平应力分布



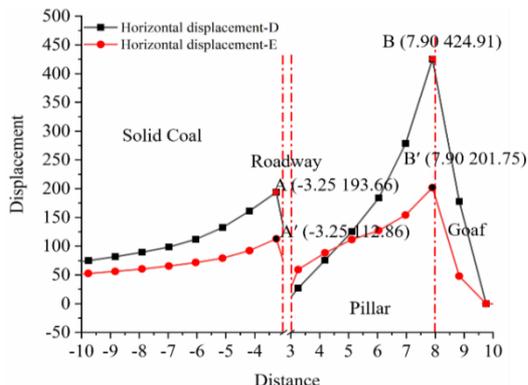
巷道围岩无摩擦作用模型的**损伤范围**大于施加摩擦作用模型结构的范围；无摩擦作用的岩体结构较施加摩擦作用的岩体存在**不稳定特征**，表现为结构**应力突变**特征。



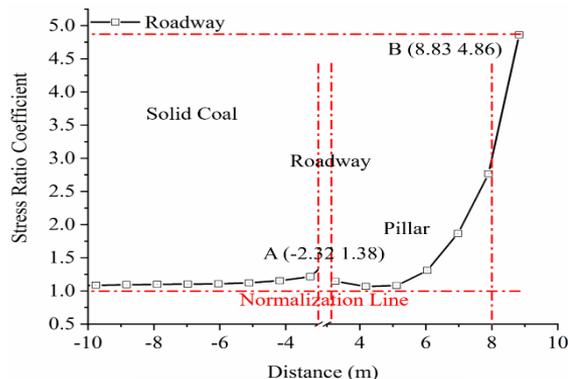
煤巷围岩启滑数值分析



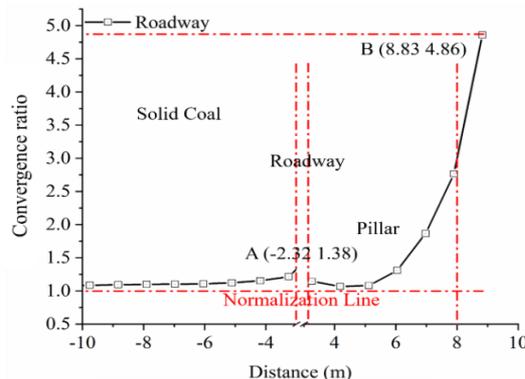
垂直位移分布



水平位移分布



垂直位移增量



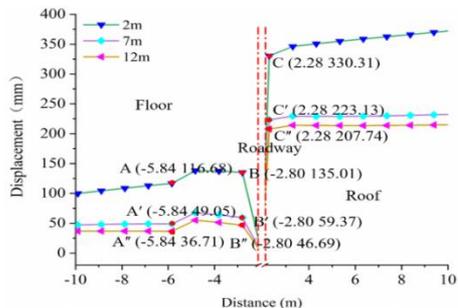
水平位移增量

无摩擦作用模型的垂直位移始终大于施加摩擦作用模型的垂直位移，在巷道与煤柱附近最大收敛系数为3.0。

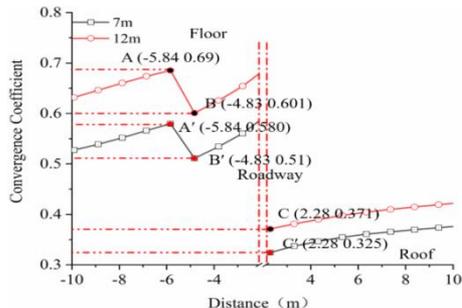
在靠近巷道位置的围岩位移变化，表现为无摩擦作用的巷帮收敛量更大，最大为193.66mm，超过施加摩擦作用模型巷帮最大收敛量的72%。



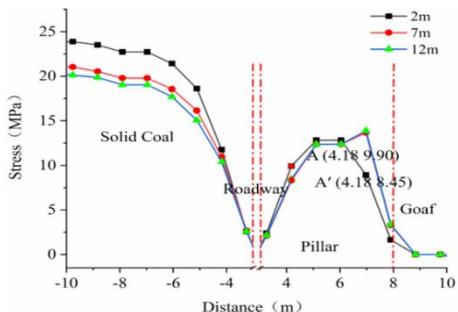
煤巷围岩启滑数值分析



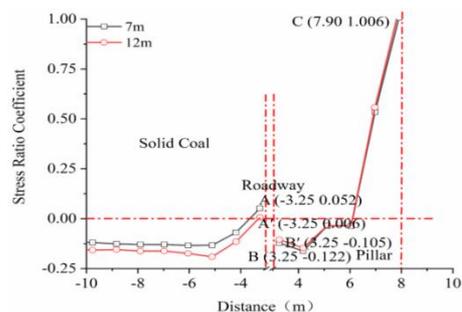
垂直位移分布



垂直位移增长系数



水平应力分布



水平应力比压系数

启滑应力特征：板结构尺度对**水平应力**的影响程度高于**垂直应力**的影响，尤其对于**煤柱区域**和**顶板位置**的影响最大。

启滑板结构特征启发：板结构的尺度与直接顶的**完整性**直接相关，因此借助合适的**支护结构**，形成较好的支护系统，强化围岩与支护体的紧密**协调作用**，能够有效维护巷道空间的稳定，强化围岩结构的**阻抗作用**。

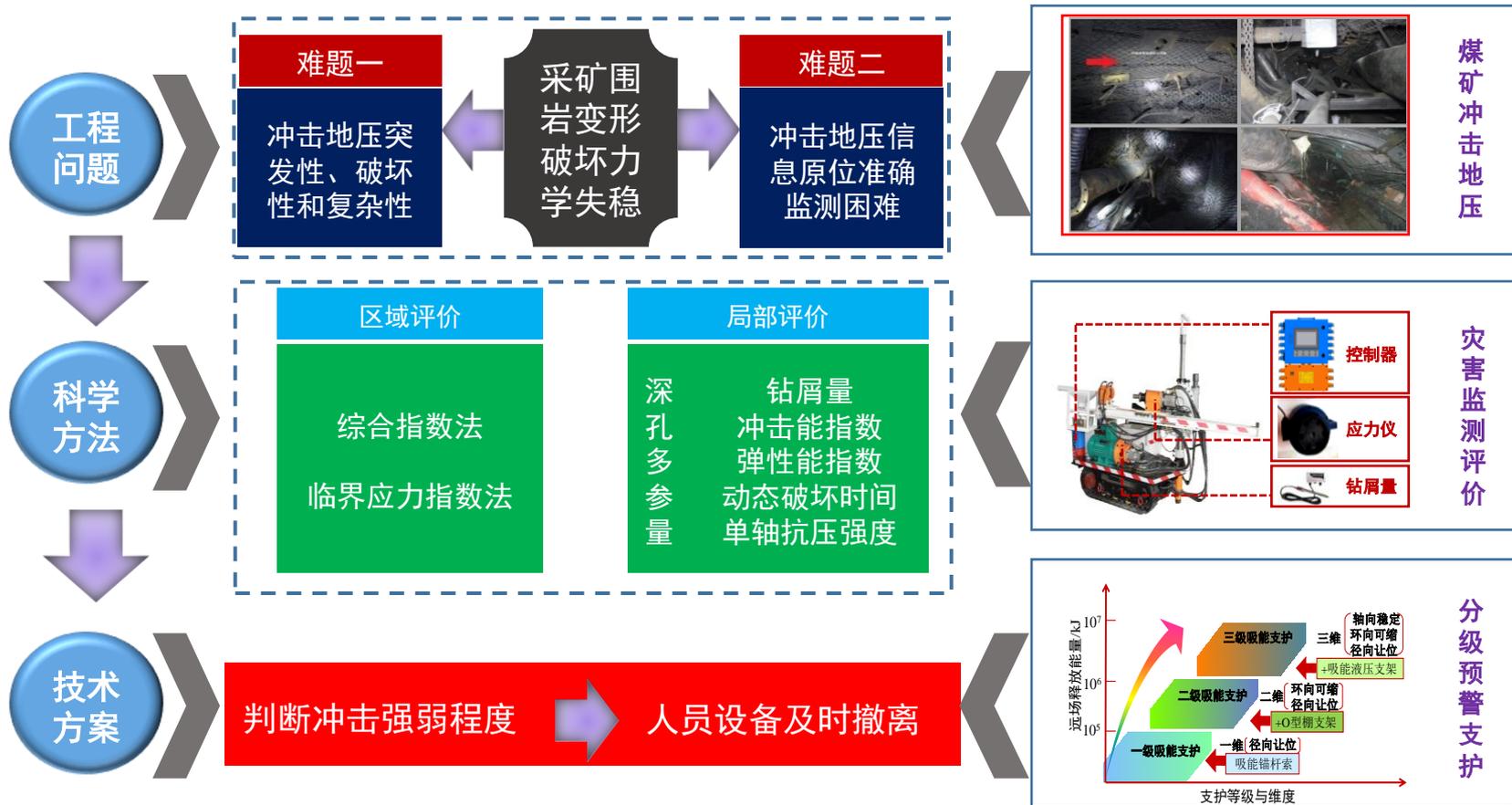


II

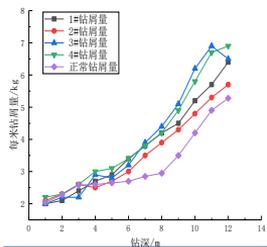
钻屑多参量监测方法



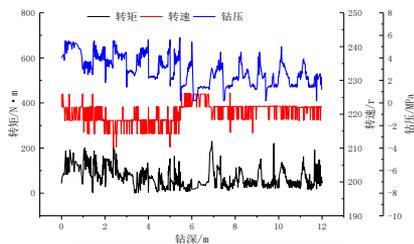
钻屑多参量监测原理



钻屑多参量监测流程

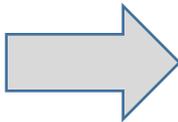


钻孔每米钻屑量



钻进力学响应量

定量
反演



冲击倾向性评价指标

冲击能指数
弹性能指数
动态破坏时间
单轴抗压强度

冲击危险性评价指标

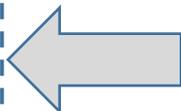
钻屑量
冲击能量速度指数
临界软化区域系数
临界应力系数

灾害分级



快速**预警**响应**处理**
人员**快速**安全**撤离**
设备**有效**安全**防护**
分级**支护**防治**措施**
减少人员伤亡与设备折损

快速
响应



无冲击危险

弱冲击危险

中等冲击危险

强冲击危险

钻屑多参量监测预警装备

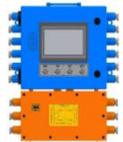
煤矿冲击地压数字智能
探测预警装备



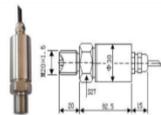
钻屑量



温湿度



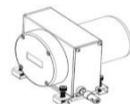
控制箱



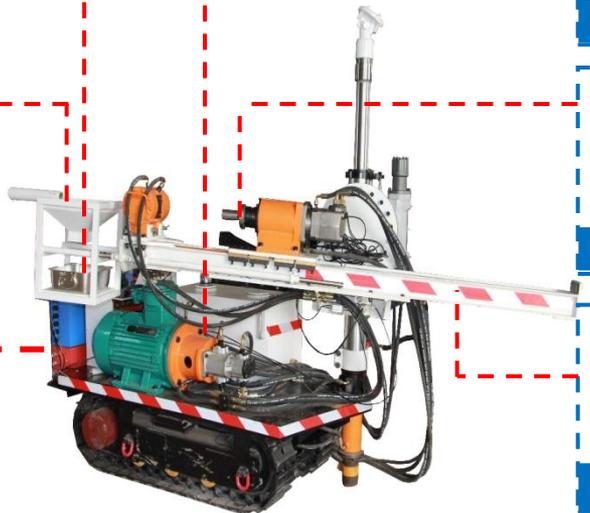
钻压



转矩转速



钻深



01

大功率切削钻进煤体

02

多个传感器同步采集

03

数据智能化传输处理

04

冲击危险性监测预警

钻、采、录、存一体化

钻屑多参量监测流程

大直径钻孔多参量钻车

数据快速无线传输

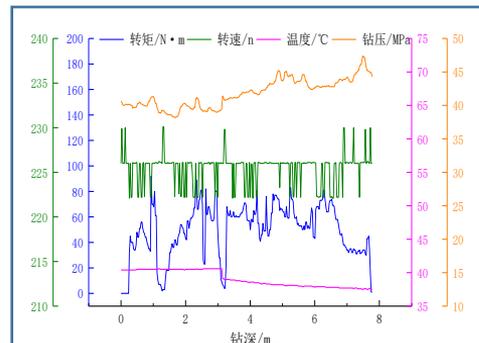
快速识别分级预警系统



一体化深孔钻车



数据采集传输系统

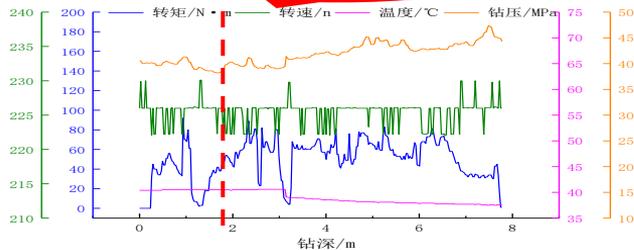


数据处理分析

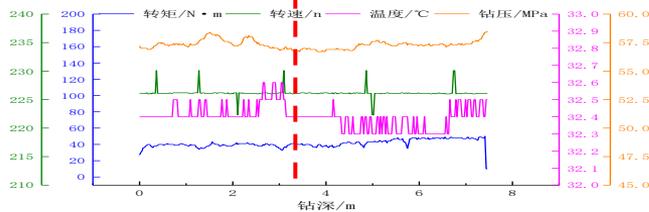
部分工程测试应用



弱冲击

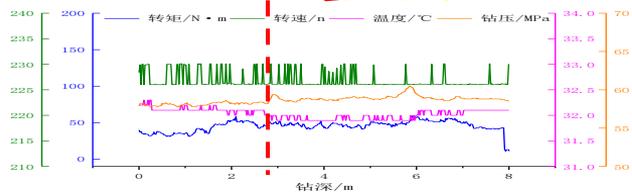


中等冲击



辽宁某煤矿现场
工程测试应用

无冲击





北京科技大学
University of Science and Technology Beijing

III

巷道围岩防控技术

巷道围岩防控原理

理论依据

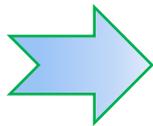
理论

摩擦效应挠度关系

$$\omega_f = \sigma_f \frac{L^4 + 4L^2L_x^2 + 4LL_x}{32EL_yL_z}$$

损伤岩体的残余强度

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_r^1 \\ \varepsilon_r^2 \\ \varepsilon_r^3 \end{pmatrix} = -\frac{1}{E} T \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{pmatrix}$$



启示

巷道局部
结构化
摩擦增阻

增大板结构
尺寸 (L)

强化层间
摩擦作用 σ_f

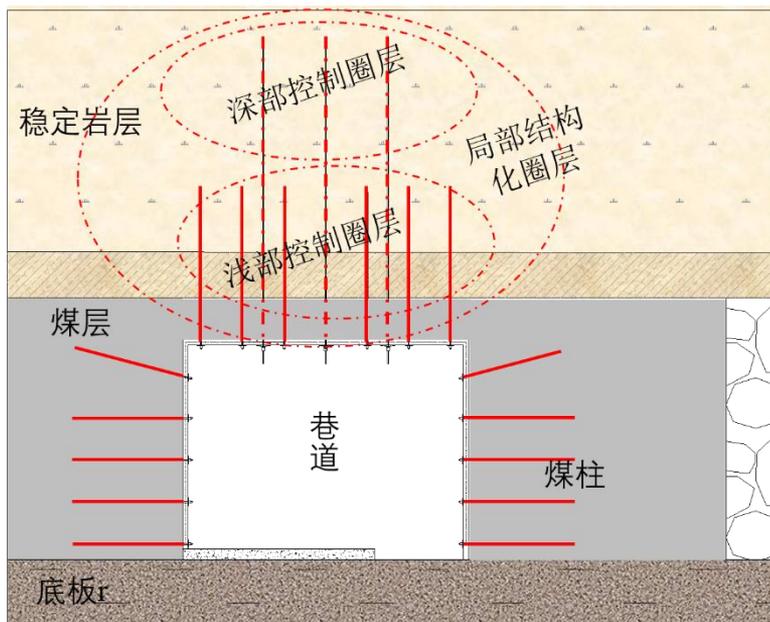
充分发挥
围岩结构
强度

- 随顶板与基本顶摩擦作用的增大，开采层抵抗应力发生挠曲变形的特征越明显；
- 随着模型跨度板结构尺寸的增大，摩擦作用的挠度影响效果表现的也越明显。



巷道围岩防控措施

巷道局部结构化增阻

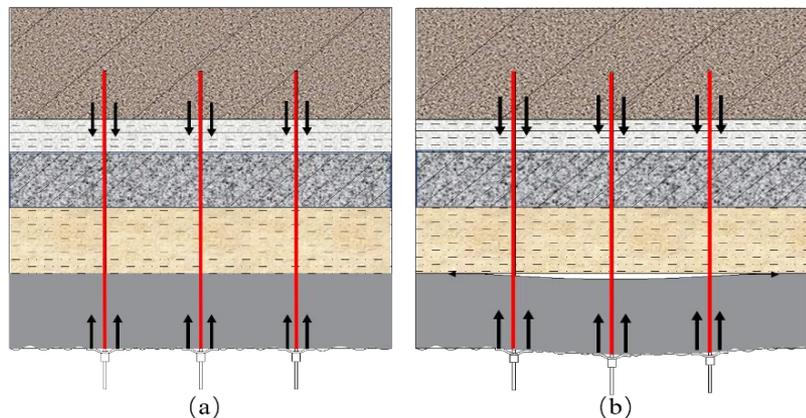
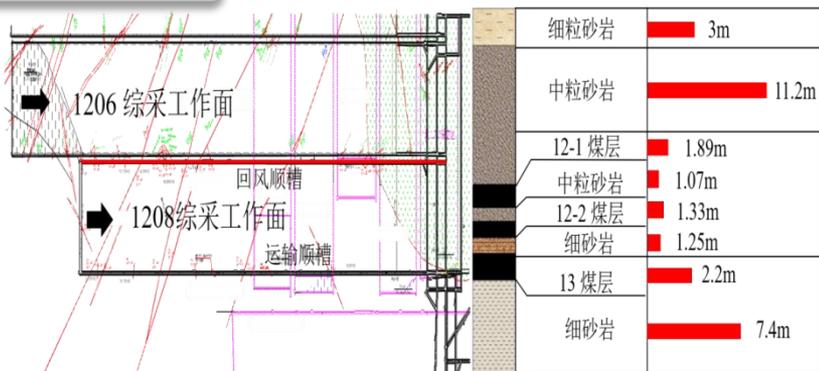


巷道顶板结构借助锚杆形成浅部锚护圈层，强化浅部开挖破碎岩体，借助锚索形成深部锚护圈层与浅部锚护圈层的协调配合，构建“双圈层-协调”控制锚护体系“包裹效应”。

“双圈层-协调”控制，发挥巷道局部增阻效应，进一步增强直接顶与稳定岩层的摩擦作用，强化支护结构，形成巷道局部结构化强阻抗圈层，实现稳定巷道的目的。

防控技术实践应用

工程背景



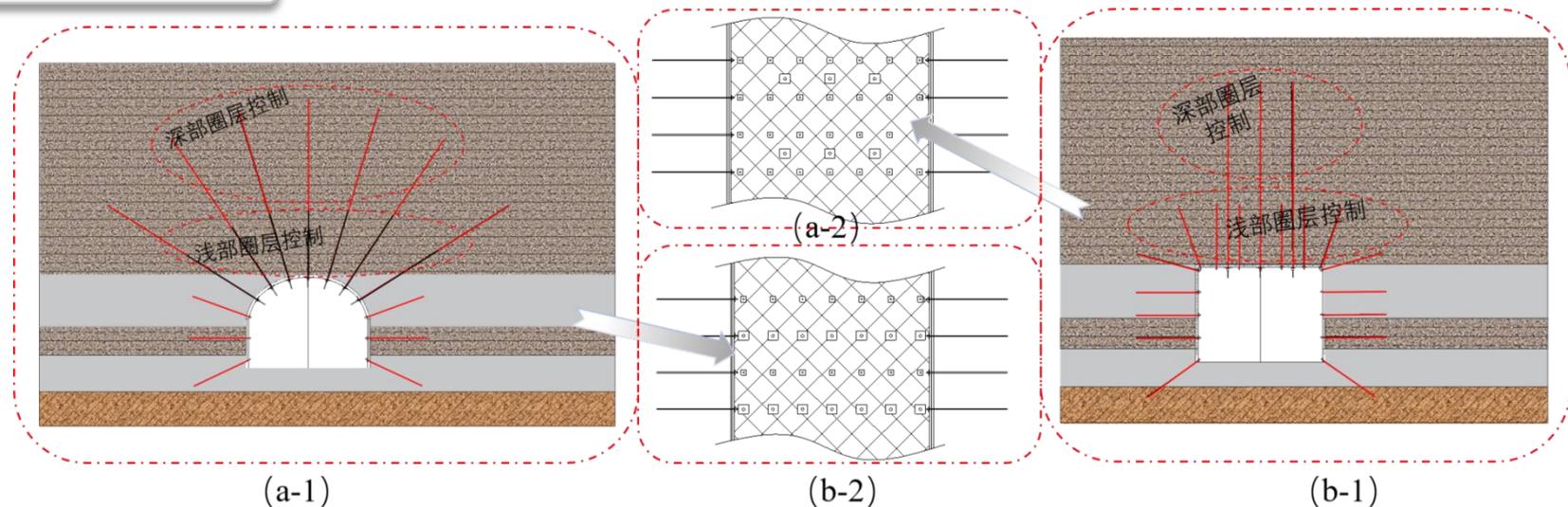
基本工程条件：

- 平均埋深：1089~1064.1m，大埋深巷道；
- 顶底板条件：顶板为中粒砂岩，平均厚度11.2m；底板为细粒砂岩，平均厚度1.25m；
- 巷道断面形式：三心拱式和矩形巷道断面；
- 浅部锚固区发生离层，裂隙扩展将以递进式向上延伸，加剧局部结构化控制的失效。



防控技术实践应用

双圈层-协调控制

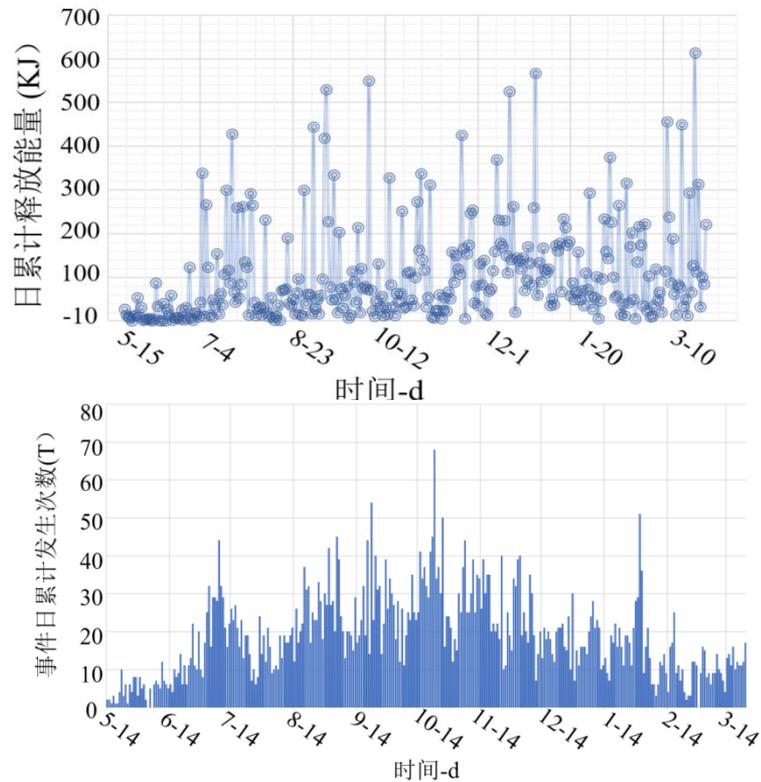


构建“双圈层-协调”控制锚护体系，充分稳定浅部损伤围岩，调动深部稳定围岩，借助深部稳定围岩与浅部损伤围岩的协调变形机制，实现巷道围岩阻抗能力的加固和强化。



防控技术实践效果

微震监测规律

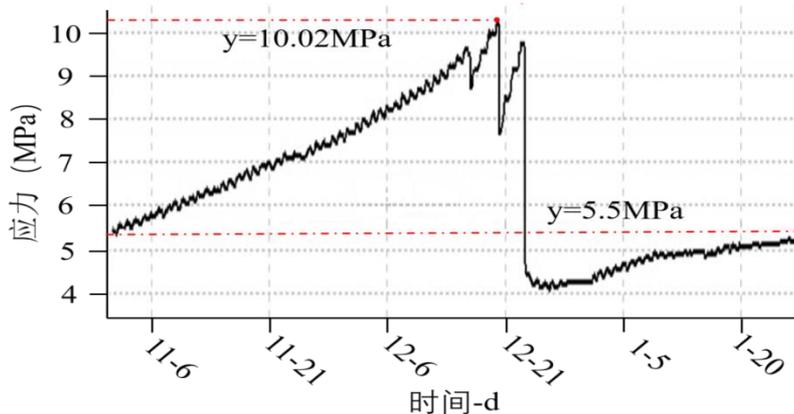
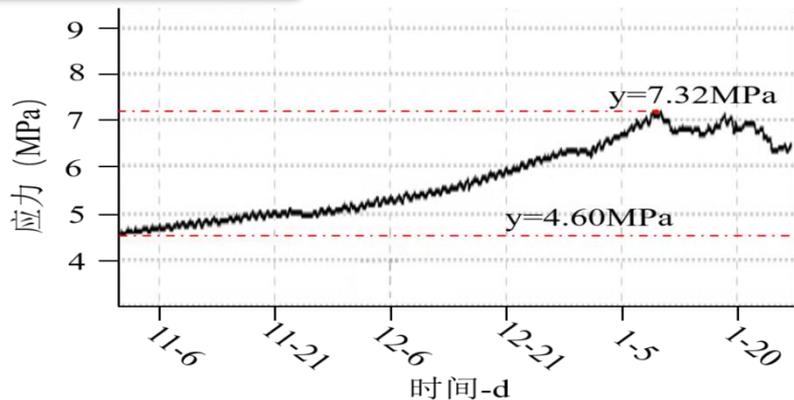


开采前期上覆岩层结构稳定，引起的能量释放较低，随着开采推进，能量释放呈周期性变化，但整体变化速率平缓，未出现能量异常释放的现象，表明在现有支护控制环境下，层状结构整体性较好，运移均衡平稳。另外微震事件累计频次在初期同样表现为低频次，随着开采推进，释放频次呈周期性变化。



防控技术实践效果

应力监测规律



在工作面30m-100m范围内为采
动应力影响区，在检测时间内，
工作面应力环境未达到临界预警
值，表明在现有支护控制条件下，
工作面应力条件稳定，岩层运移
特征平稳，能够保证工作面的安
全生产条件。



**谢谢各位专家！
敬请专家给予批评和指正！**