



東南大學  
SOUTHEAST UNIVERSITY

## 研究生讲座报告

地下煤火多场耦合特性与防治技术

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 10 月 23 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： 地下煤火多场耦合特性与防治技术

演讲人： 王少锋 讲座日期： 2022 年 10 月 23 日 讲座地点： 线上

## 一、 研究目的和背景

地下煤火是煤矿层由于人为因素或自燃形成的煤田火和矿井火的统称，被称为没有地理界限的“全球性灾难”。世界上几乎所有产煤国都不同程度地存在着地下煤火灾害，其中以中国、印度、印度尼西亚的形势最为严峻。据统计，全世界每年约有 10 亿吨煤炭被地下煤火烧毁，占世界煤炭消费总量的 1/8，每年地下煤火燃烧约产生 10 亿千瓦的能量，相当于当前全球核电总容量的 2.5 倍，超过水力发电所产能量总和。我国是世界上煤火灾害最严重的国家，据不完全统计，1949 年以来我国煤火烧毁煤炭资源量近 30 亿吨。煤火吞噬大量资源的同时，还严重破坏生态环境，危害采矿安全。

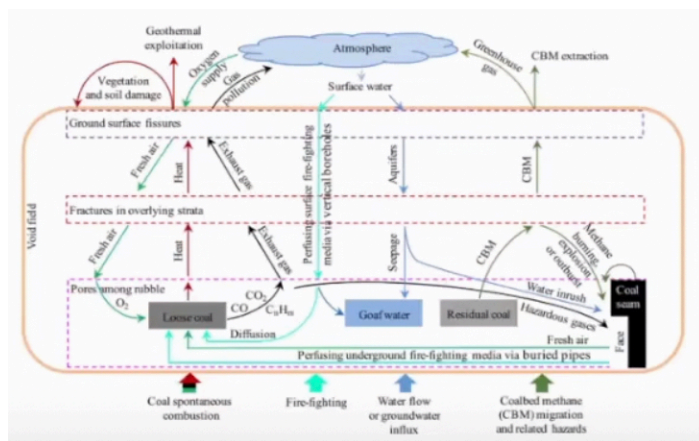


图 1: 地下煤火示意图

为了治理地下煤火灾害，先后出现了很多煤火探测、治理技术；为了实现煤火的“治”与“用”的协同，有学者还开发了地下煤火热能提取温差发电技术；然而，由于地下煤火的隐蔽性、复杂性、规模大，地下煤火防治与利用仍是世界难题，严重制约着我国双碳目标的实现。

## 二、 研究内容

### 1. 重力-倾角效应

1. 发现了层状采动煤岩体重力-倾角效应，从微观、介观、宏观和工程四个维度上阐明了大倾角采动煤岩体物理力学性状与行为变化的内在机理；提出了大倾角长壁采场采动煤岩体力学行为跨尺度大

数据分析方法，架构了采动煤岩体载荷-位移量化表征体系。

2. 重力-倾角效应：自重应力场内层状煤岩体采动力学性状与行为随煤层倾角变化而变化的现象。揭示了重力-倾角效应下煤岩体采动力学性状与行为“异化”机理。阐明采动过程“关键层”迁移、岩体结构异化、泛化机制。实现“采动岩体与支护体、随机分离体与人机环境”相互作用关系评价。指导支架-围岩系统多维动态多目标控制，提升机械开挖水平。

3. 重力-倾角效应对煤岩体力学行为的影响贯穿各个尺度，以不同形式体现。微观尺度上单元主应力偏转、层间应力非均衡传递。介观尺度上试件、模型优势破裂面方向偏移。工程尺度上采场关键层区域迁移、岩体结构异化、泛化。通过大数据方法分析处理采集的多源异构数据，实现煤岩体采动力学行为细宏观跨尺度关联表征

4. 基于应力-载荷等效转换和倾角效应，得出了试件尺度下主应力大小和方向随倾角改变的演化规律及对煤岩体失稳破坏的影响机理。基于多尺度数据理论，架构了采动煤岩体宏细观尺度关联表征函数。

## 2. 应力演化机制

1. 揭示了大倾角采场应力演化内在机制，阐明了采场应力强度包络面展布和围岩（顶、底板）破断空间形态、“关键层”迁移机制及其对覆岩承载结构的控制作用、顶板倾斜砌体结构的形成机理及其对采场矿压的影响机制。

2. 采动“应力-冒落”拱壳演化：采动应力在岩体内的连续传递包络界面呈现典型的非对称拱形。随着煤层倾角的增大，这种非对称特性加剧，拱顶不断向工作面倾向上侧迁移，拱高呈现先增后减的趋势。

3. 围岩破断空间形态：顶板—阐明了重力-倾角效应影响下顶板破断的时序性与非对称性

- 顶板时序性破断：工作面中部-倾斜上部-倾斜下部

- 矸石非均匀充填：下部填实、中部填满、上部悬空，采空区临空面呈“倒三角形”

底板—阐明了底板变形破坏特征对倾角变化的响应

- 底板易挤压膨出，破坏呈非对称反拱

- 随倾角增大底板的破坏深度和范围减小

- 随倾角增大底板破坏边界非对称特性加剧

煤壁—阐明了大倾角工作面煤壁帮机区化及致灾机制

- 工作面倾斜中偏上部顶板变形大、煤壁侧应力集中，是片帮的多发区域

- 片帮诱发的围岩灾变：帮片-顶冒-架倒-底滑

揭示了大倾角采场“关键层”形成层位沿倾斜方向的迁移机制

- 采空区冒落矸石沿倾向滑移滚落，形成非均匀充填。

- 非均衡约束影响着顶板岩梁的破断、铰接、运动形式。

- 对上覆岩层运动起控制作用的“关键层”层位将沿倾斜方向自下而上向高位迁移。

- 岩体结构异化，呈梯阶状。

## 3. 岩体泛化机制

1. 揭示了大倾角采场围岩岩体（承载）结构“泛化”机制，阐明了工作面顶板上覆岩层内、底板下伏岩层内岩体（承载）结构特征，以及区段间、近距煤层间围岩链式承载结构形成与稳定-失稳规律。

2. 阐明了工作面顶板上覆岩层内、底板下伏岩层内岩体（承载）结构特点。大倾角长壁采场岩体结构形成的显著特点是结构“泛化”：即除上覆岩层内形成岩体结构外，在底板下伏岩层内也存在岩体结构。区段煤柱及其邻近垮落间也会形成结构，组成围绕工作面、区段间围岩链式（环形）结构。

3. 揭示了近距煤层间围岩链式承载结构失稳泛化机制。近距煤层开采中，间隔岩层经历重复扰动失稳，上下两采空区上部易联通，围岩链式结构中的强弱链发生转化，改变了区段间或煤层间开采后岩层自组织稳定过程，扩大了整个回采空间围岩承载区域范围，实质上就是采动后围岩链式承载结构的泛化（扩大）。

#### 4. 支护-围岩相互作用机理

1. 揭示了大倾角工作面支架-围岩相互作用机制，建立了重力-倾角效应影响下支架围岩系统多维动态稳定性评价与判定方法。阐明了大倾角长壁开采“R-S-F”系统动力学控制机理、不同顶板结构形式与支架的作用模式以及支架工况对顶底板运动的响应规律。

2. 实现了重力-倾角效应影响下支架围岩系统多维多目标动态稳定性评价。奠定了大倾角开采“R-S-F”系统动力学控制基础。给定了不同顶板结构形式与支架的作用模式倾向。揭示了支架工况对顶底板运动的响应特点。

#### 5. 飞矸动力灾害机理

1. 揭示了大倾角采场飞矸动力灾害孕育形成机制，阐明了飞矸沿程能量累积-耗散-异常释放过程特征，构建了飞矸累积损伤效应的风险评价模型。

2. 飞矸动力灾害定义：大倾角煤层长壁开采工作面落煤、煤壁片帮、顶板漏冒或底板滑移等形式产生的并在回采空间内滑滚、飞溅的煤岩块对作业人员和设备形成伤（损）害的动力现象。

3. 反演了不同煤层倾角下飞矸轨迹特征以及沿程能量累积-耗散-异常释放过程。飞矸沿程在自由落体、回弹、滑动、滚动阶段动能以非稳态聚集，与设备碰撞后异常释放随着煤层倾角增大，飞矸回弹效果减弱。

### 三、 发展方向

• 一是加强和深化大倾角采动煤岩体力学行为研究，揭示复杂煤岩体采动力学行为对采场围岩灾变的控制机制，并采用大数据方法进行量化表征，阐明“岩体承载结构-采场装备群组”系统间的多维动态作用过程与规律，强化“装备与围岩多维动态多目标协同控制、飞矸灾害智能防控”理论与技术基础。

> 复杂应力场内大倾角采动煤岩体本构关系量化表征

> 岩体结构-支架群组三维交互作用矢量表达

> 动态多目标控制模型算法与工程实施理论

> 原位流态化开采技术路径

> 大倾角煤层开采专用实验仪器装置与方法

• 二是进行采煤方法、回采工艺、成套装备突破性创新，探索突破大倾角煤层长壁综采“安全-产效”技术瓶颈，使大倾角煤层综合机械化开采倾角上限在有可靠技术保障的前提下向上延伸（扩展），同时为该类型煤层自动化、智能化开采奠定基础。

> 工作面临界伪俯斜布置

> 工作面斜向长壁开采

> 自动装撤架柔掩机器人采煤法