



東南大學
SOUTHEAST UNIVERSITY

研究生讲座报告

大倾角煤层开采

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 14 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： 大倾角煤层开采

演讲人： 伍永平

讲座日期： 2022 年 10 月 14 日 讲座地点： 线上

一、 研究目的和背景

首次提出：1996 年“全国煤矿顶板事故分析与防治大会”上提出了大倾角煤层是指： 35° - 55° 的煤层。大倾角煤层开采是我国西部矿区生存和东部矿区持续发展亟待解决的重大工程问题，对促进我国经济社会发展具有重要意义。

• 经济账

1. 煤种优质稀缺（焦、瘦、肥、气....）
2. 区域支柱产业（甘、黔、川、疆....）
3. 储量小，产值高，西广东深，需求迫切

• 战略账

1. 易采资源终将面临枯竭，技术储备
2. 一带一路沿线均有赋存，技术输出
3. 我国矿井机械化升级改造的重点难点领域

• 大倾角煤层非机械化开采

仓储式采煤法，倒台阶采煤法，俯伪斜走向分段密集支柱采煤法，俯伪斜柔掩采煤法（安全保障度低、作业环境件差、工人劳动强度大、产效低、产量小、经济效益差）

• 大倾角煤层长壁综采在我国的发展历程

1. 上世纪 80 年代中期到 90 年代中期，我国开始对长壁综合机械化开采方法进行了研究和试验，自主研制和引进大倾角煤层综采装备。

2. “七五”间，国产装备在辽宁沈阳矿务局红菱煤矿进行过国家重点科技攻关项目试验，引进装备在四川攀枝花矿务局进行试验，但均未获得成功。

3. 1995 年，四川华蓥山矿务局绿水洞煤矿大倾角工作面发生重大人员伤亡事故，面临矿井关闭，数千工人下岗困境，急迫需求采煤方法变革。自此，团队在传承我校该领域研究的基础上开始了大倾角煤层综合机械化开采方法科学探究与工程实践。

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，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。

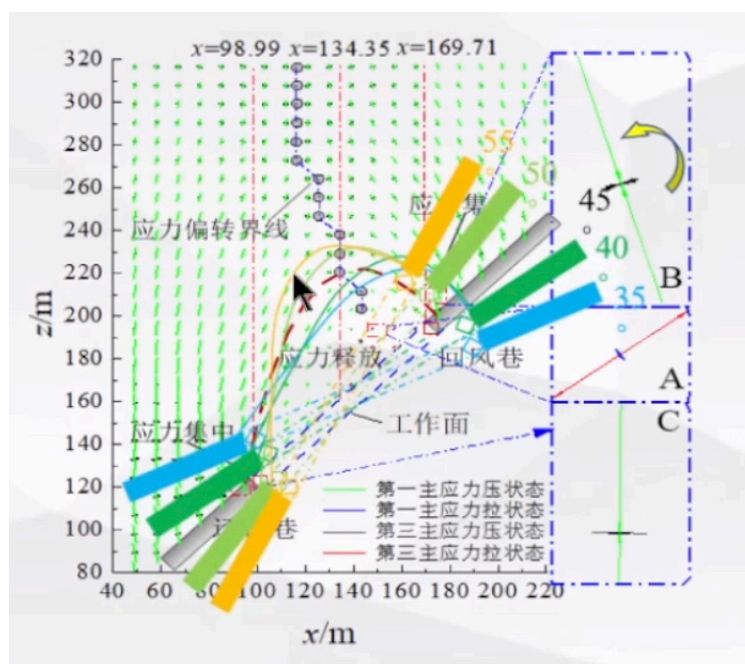


图 1: 采场覆岩主应力包络形态随倾角变化

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：顶板一阐明了重力-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

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

底板一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

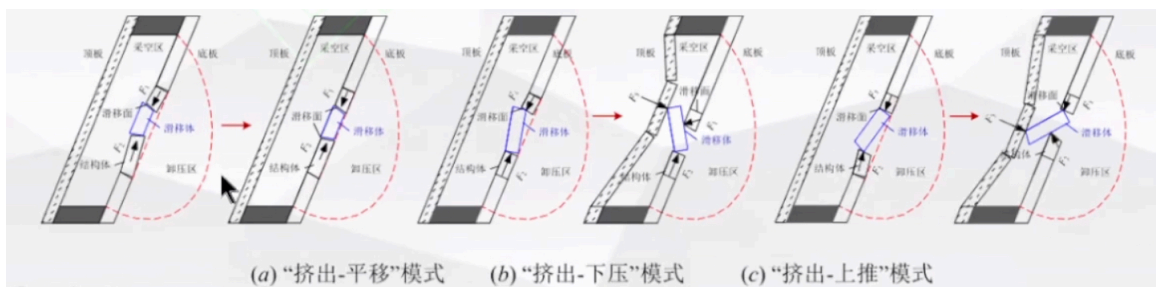


图 2: 底板破坏模式

煤壁一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。

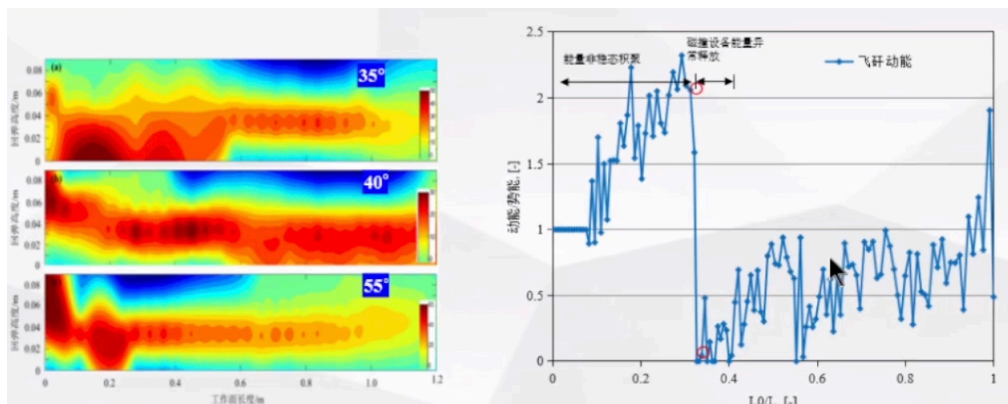


图 3: 不同煤层倾角飞矸轨迹统计分布

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