

2018 年以来，实验室研究团队在科研、教学、承担国家项目、发表学术论文等方面取得了较大的进展，在实验室主要研究方向上取得了较好的创新性成果。2018 年度实验室共发表第一单位标注 SCI 论文 36 篇、EI 论文 40 余篇，授权发明专利 40 余项，第一起草单位制定国家标准 1 项，获得包括江苏省科技进步奖、教育部高等学校科学研究优秀成果奖、煤炭工业协会科技进步奖在内的省部级与行业科技奖励 16 项，承担了包括国家“十三五”重点研发计划课题、“973”项目课题、国家自然科学基金及企业创新课题等科研项目 300 余项（新增纵向课题 30 项，企业横向课题 103 项），新增合同金额七千余万元。承担本科课堂教学工作量超 1600 学时，承担研究生课程教学工作量超 800 学时；2018 年度培养毕业博士研究生 24 名、硕士研究生 172 名。

本年度实验室主要研究方向取得的创新性成果包括如下：

1、 深部煤炭资源开采智能化监控理论与技术

针对深部煤炭资源工作面开采过程中遇到智能控制的关键难题，建立了煤矿工作面光纤智能感知理论与技术体系。

为精确求解智能工作面液压支架的姿态参数，研究了液压支架姿态监测的运动学原理，基于光纤传感技术的应力应变和温度传感原理，建立了液压支架姿态监测的系统结构，分析了支架顶梁的理论回转角、支架姿态与工作阻力的关系、支架围岩刚度耦合理论及支架稳定性，借助 BP 神经网络的多传感融合算法，提出了液压支架姿态智能感知理论与方法体系（图 1），并明确了姿态感知参数的安全范围，实现了支架姿态对顶板运动状态、矿压强度、支架-围岩耦合关系、支架稳定性、支架关键结构工况等的全面实时监测。

为解决智能工作面开采过程中刮板输送机直线度感知手段缺失的关键难题，基于光纤光栅曲率传感原理，实现了刮板输送机三维弯曲形态拟合感知与重建。建立了刮板输送机三维弯曲测试实验平台，分析了刮板机三维弯曲状态下感知形态的观测结果，实现了刮板输送机三维形态的实时动态感知（图 2），为刮板输送机直线度的精准控制奠定了基础。

集成了采煤机运行姿态高精度感知、液压支架姿态智能感知、刮板输送机直线度感知及工作面环境安全智能感知，形成了煤矿工作面智能感知理论与技术体系，配套研发了光纤光栅倾角仪、光纤光栅压力表、光纤光栅三维曲率传感器、

光纤光栅温度传感器等成套工作面智能感知仪器，逐步形成了矿井一体式智能化光纤感知技术与关键设备研发体系（图3），为解决智能工作面开采的关键难题奠定了基础，该研究属于国际首创。

该研究方向本年度发表高水平学术论文8篇，其中SCI论文6篇，EI论文2篇，授权国际发明专利7项，申请中国发明专利2项。

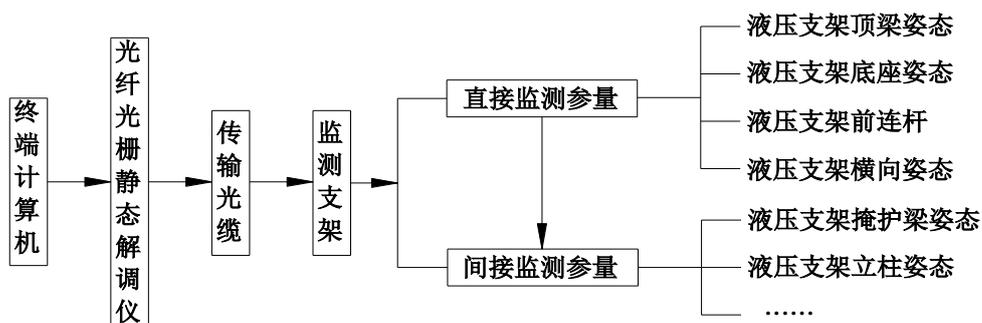


图1 液压支架姿态监测系统机构

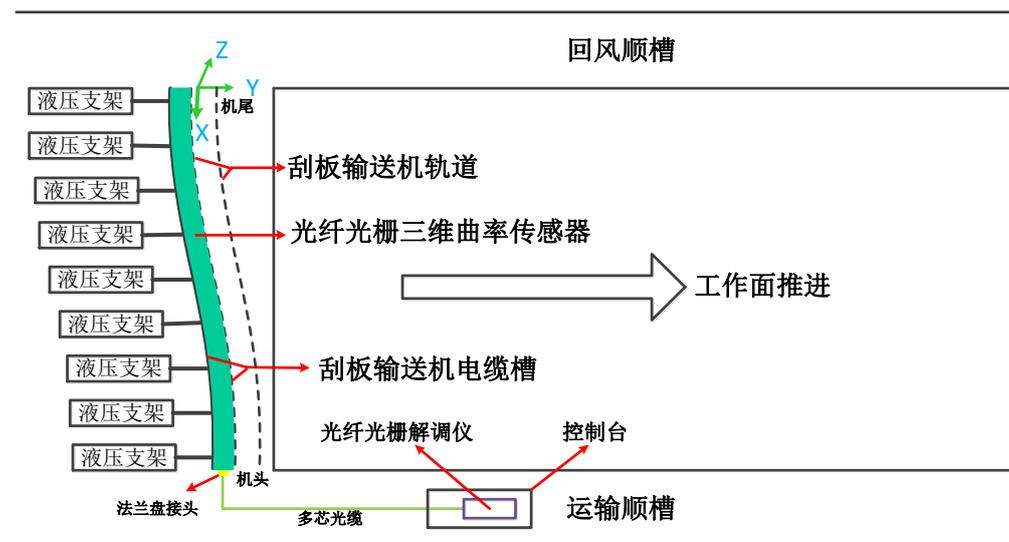


图2 刮板输送机形态智能感知系统

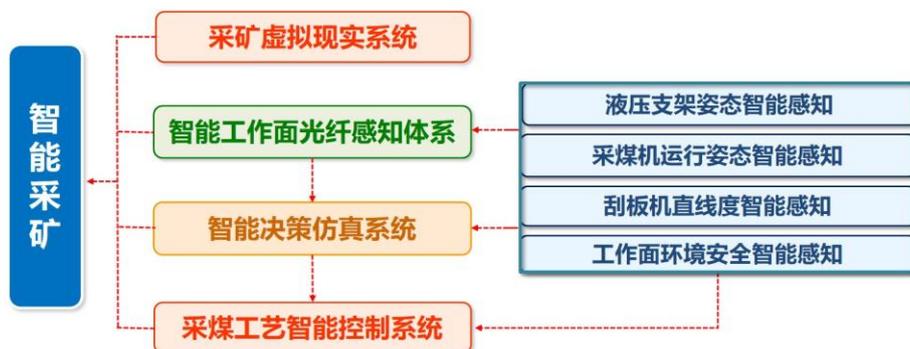


图3 智能工作面光纤感知技术体系

2、 绿色开采、巷道智能掘进与岩层控制理论与技术

围绕煤巷智能掘进、新型长锚固技术以及“短充长采”科学开采技术，开展了体系研发与构建工作。

在煤巷智能掘进领域，针对煤炭生产遇到的采掘失调问题，初步形成了以煤岩特性智能感知为技术基础，以自动化控制系统为枢纽，以远程可视监控为手段，以岩体结构面数字摄像分析方法、钻孔成像孔间联合分析方法及受载岩体声波衰减特性为理论依托，以智能截割技术、智能锚护技术、输送带多点驱动功率平衡技术和张紧力自动控制技术、辅助工序自动化技术、物联网集成技术、系统的适应性技术为技术依托，以实现掘进工作面巷道掘进系统“全断面快速掘进、掘支运平行作业”为目的的安全协调高效掘进技术体系规范。

在巷道围岩稳定性控制领域，针对传统锚杆支护效能不足的问题，基于煤巷掘进全过程应力演化规律、围岩应力损伤机理，形成了以提升单一锚杆支护性能为支护手段、以及时构建巷道围岩高预应力稳态岩梁为技术依托、以实现巷道锚固区均匀协调变形及大小位移联动为控制目标的煤巷时效连续控顶理论与高效长锚固技术。

在绿色开采领域，针对传统煤炭开采模式下固体废弃物排放引起的一系列环境问题，基于“岩层低损伤”、“无煤柱开采”和“固废零排放”研究思路，探索了煤矿井下“采-选-充-留”一体化关键技术路径，统筹研究解决了遗留煤柱的资源浪费、固废排放的环境污染、传统开采的技术瓶颈和深部开采的安全风险。提出了“短充长采”2个岩层控制基本理论和5项关键技术，初步构建了以“密实可控精准充填”、“沿充填带高效留巷”和“轻量模块智能分选”为核心技术的“短充长采”科学开采模式（图4）。

该研究方向本年度发表SCI论文11篇、EI论文4篇，授权发明专利9件。

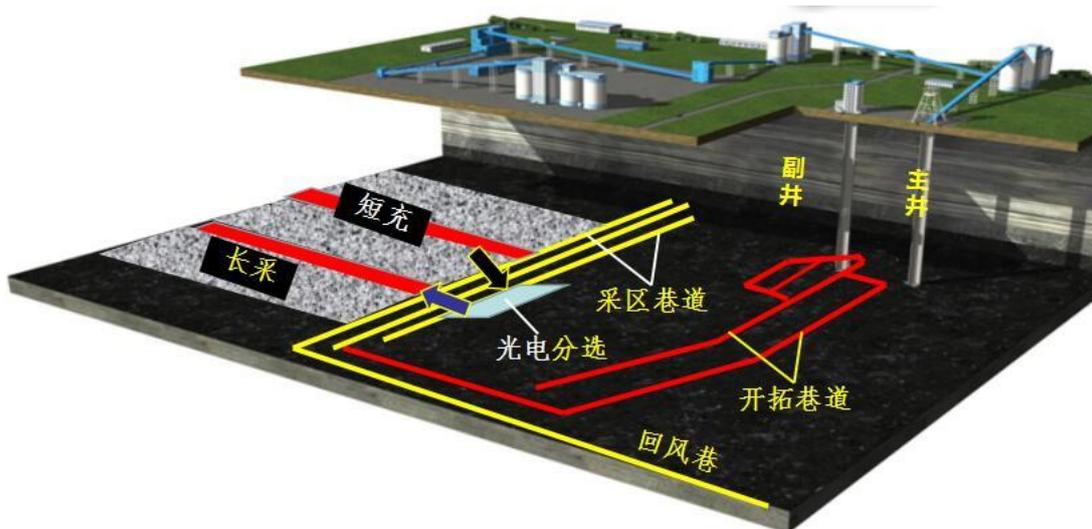
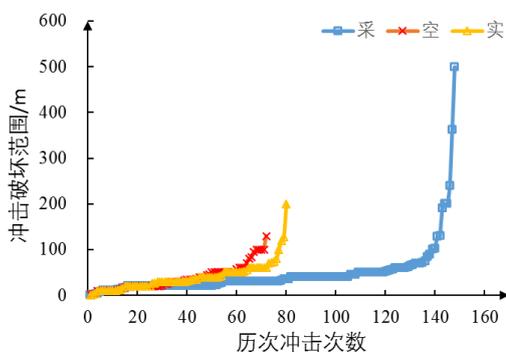


图4 “短充长采”科学开采模式

3、 深部围岩动力灾害控制理论与技术

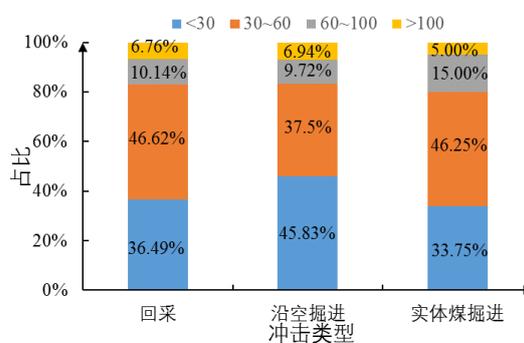
针对冲击地压诱发机理、风险智能判识与监测预警的重大需求，在国家“十三五”重点研发计划课题、国家自然科学基金及一批企业合作项目的支持下，本年度开展了煤层巷道掘进冲击地压发生机理及褶皱构造区应力演化与覆岩破断规律研究，构建了不同冲击地压类型的综合监测预警模型与技术体系，研发了冲击地压危险的双源震动波一体化反演预警技术与装备。

(1) 构建了冲击地压危险因素综合智能判识理论计算模型，提出了冲击危险综合指数和相对应力集中系数，编写相应软件实现冲击地压风险智能判识，自动进行冲击危险等级分区分级划分。(2) 开展煤层巷道掘进围岩应力路径转换及其冲击机理研究，总结了煤巷掘进冲击显现特征、主控因素及震源能量影响因素(图5)，研究了煤巷掘进“加-卸”应力路径下载荷变化特征与能量演化规律，提出了煤巷“加-卸”应力路径下围岩应力方程及冲击危险性判别准则。



注：采：回采期间、实：实体煤掘进、空：沿空掘进。

(a) 回采和掘进冲击破坏范围曲线



(b) 回采和掘进破坏范围占比

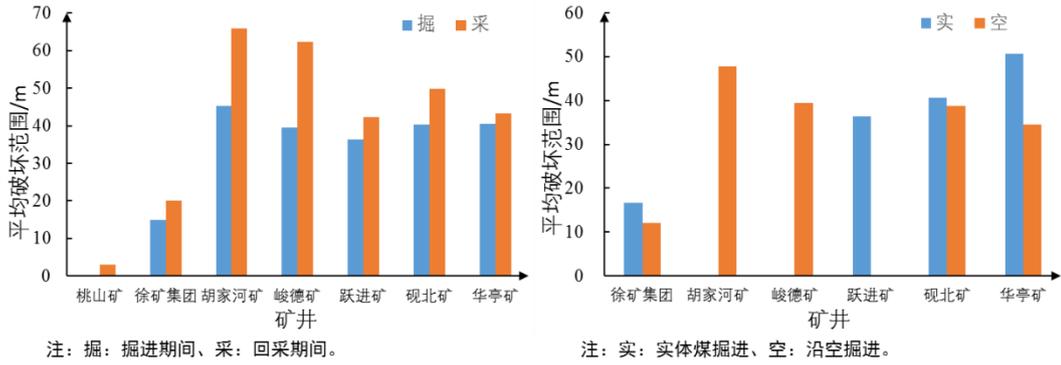


图 5 煤巷掘进冲击破坏范围统计

(3) 以褶皱构造区开采诱发冲击地压危险为研究背景，研究了褶皱区开采不同推进方向和开采顺序下采动应力场分布演化规律 (图 6)，及不同褶皱构造区开采的覆岩结构破断、塑性区分布特征 (图 7)，建立了复杂褶皱区高仿真矿井 (区) 大尺度数值模型。

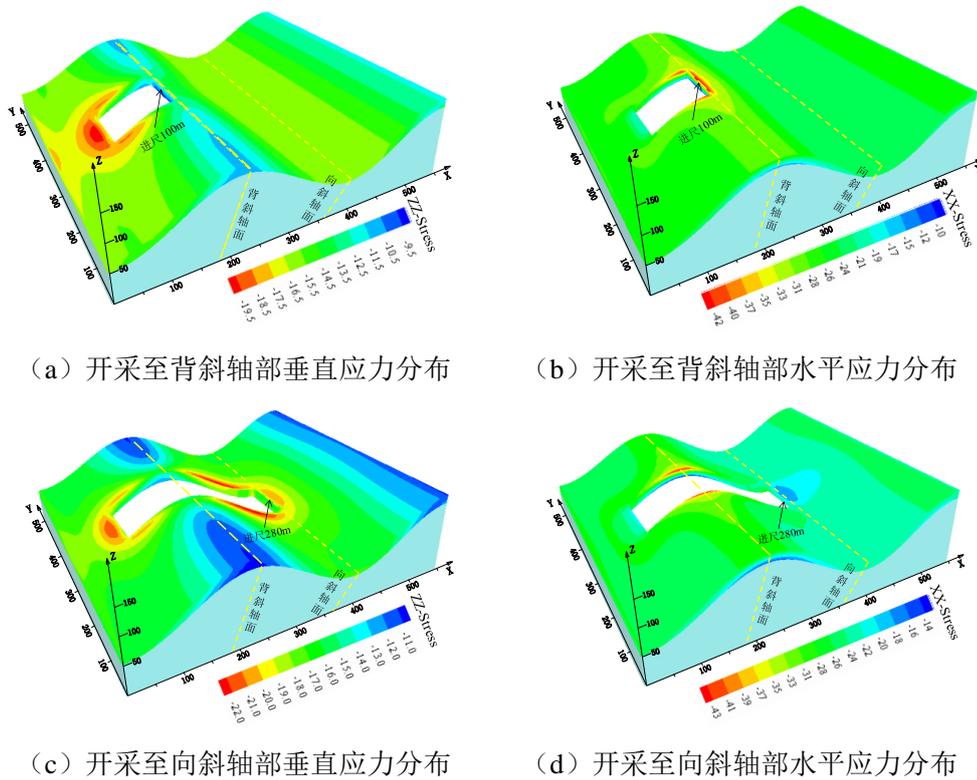
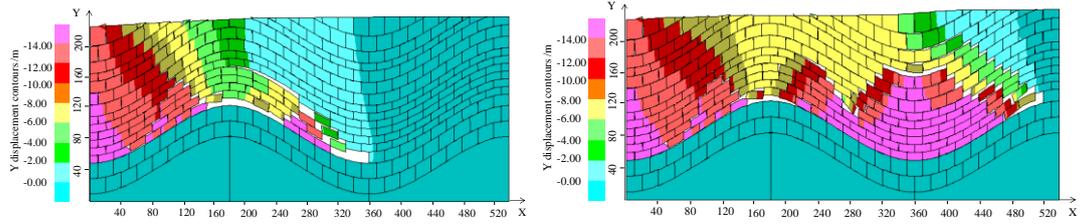


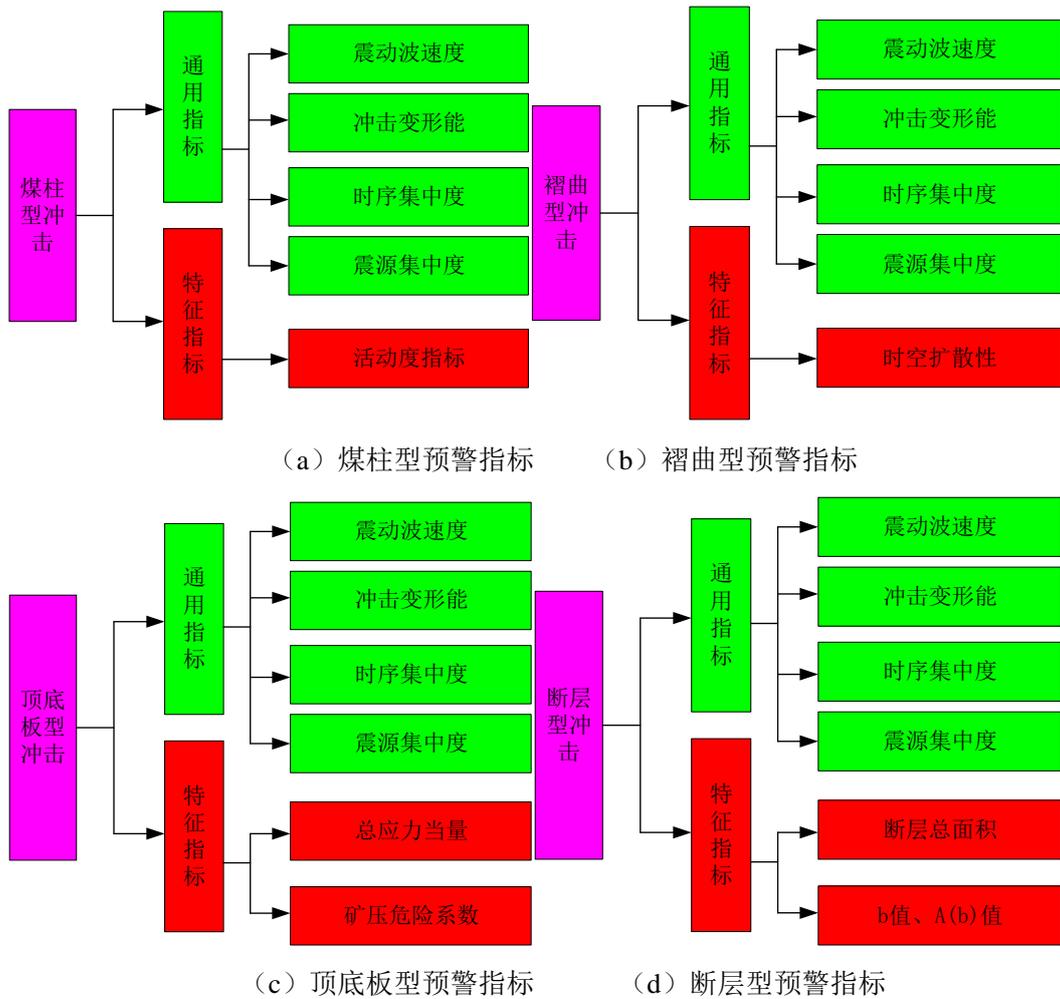
图 6 典型褶皱区开采围岩应力场演化云图



(a) 开采至向斜轴部覆岩结构演化 (b) 开采远离向斜轴部覆岩结构演化

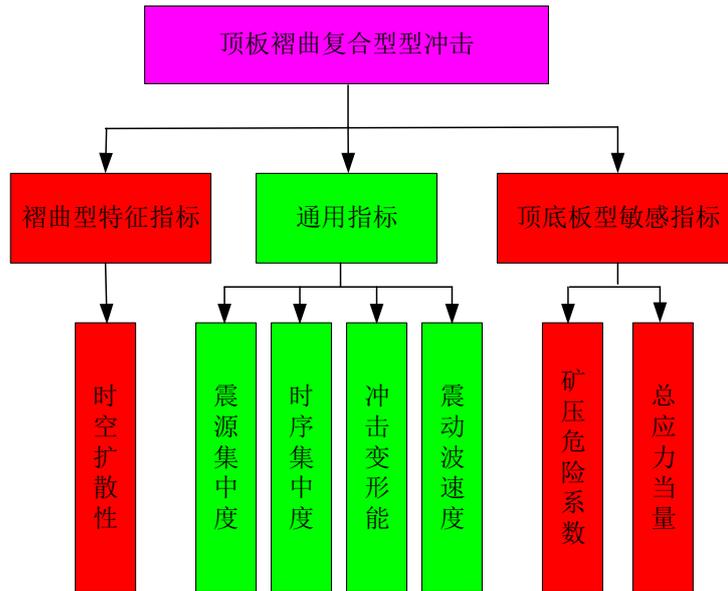
图 7 典型褶皱区开采覆岩空间结构演化图

(4) 构建了冲击地压危险的多参量综合监测预警模型与技术体系，即通过不同采掘区域冲击类型判识，确定各区域的冲击危险类型，根据冲击危险类型选取对应的预警指标并进行动态权重计算，建立具有针对性的不同区域、不同类型、不同指标、动态权重的监测预警体系，从而获取不同采掘区域的冲击危险等级(图 8)。



(a) 煤柱型预警指标 (b) 褶皱型预警指标

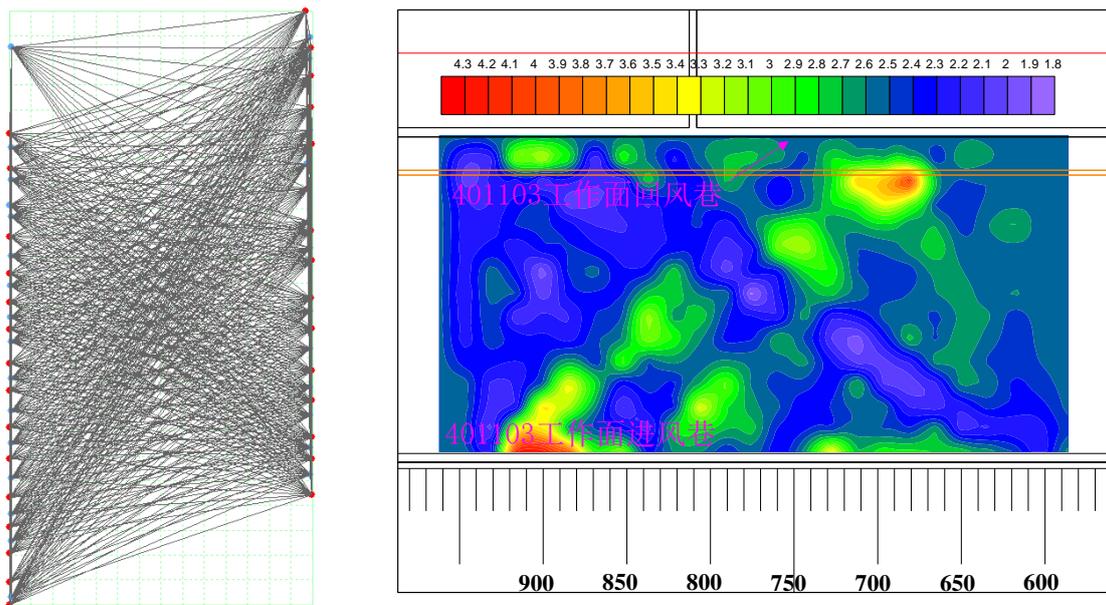
(c) 顶底板型预警指标 (d) 断层型预警指标



(e) 顶底板褶曲复合型预警指标

图 8 不同类型冲击地压预警指标体系

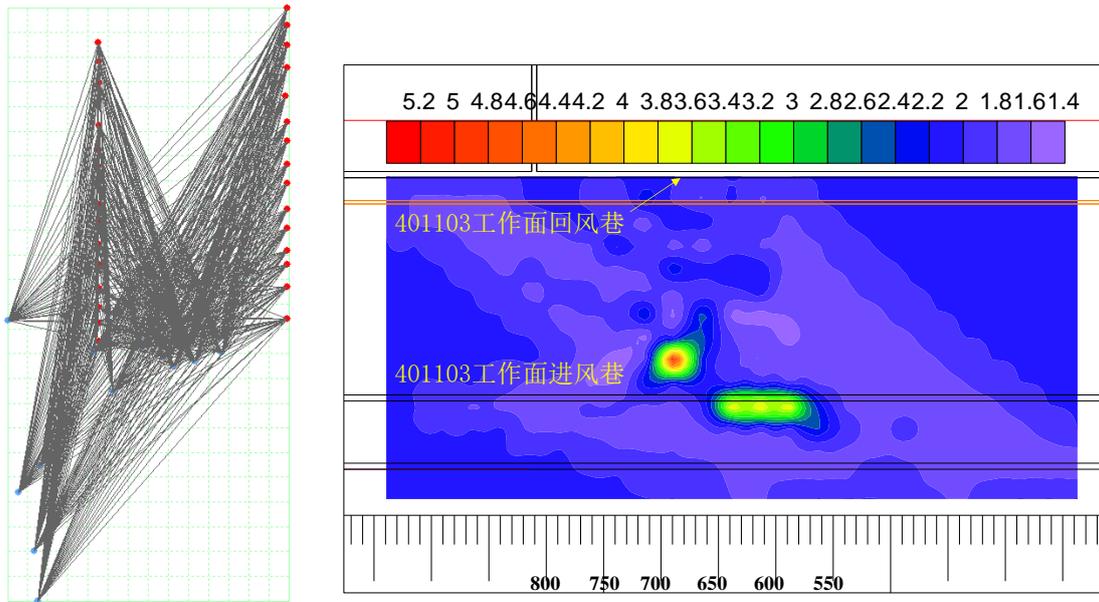
(5) 基于矿山开采围岩震动以及人工激发震源，开发双震源一体化在线式弹性波 CT 反演应力场技术。基于主、被动震动波 CT 反演技术和预警指标体系，实现矿山震动的智能识别，及人工震源在线激发，高精度反演开采区域应力波波速对应的应力分布状态，实现区域应力场快速、在线、智能反演，明显提升冲击地压风险智能判识的时效性和准确性。开展了对胡家河 401103 工作面基于人工震源（主动）、自然震源（被动）CT 的联合反演工作（图 9、图 10）。



(a) 主动反演射线分布图

(b) 主动反演云图

图 9 401103 工作面主动 CT 反演实例



(a) 被动反演射线分布图

(b) 被动反演云图

图 10 401103 工作面被动 CT 反演实例

该研究方向本年度发表 SCI 论文 6 篇，EI 论文 8 篇，授权发明专利 2 项，第一起草单位获批制定国家标准 1 项，获 2018 年度江苏省科技进步二等奖 1 项、煤炭工业协会科学技术三等奖 1 项。

4、 深部资源开发及矿井热害防治理论与技术

基于煤矿绿色开采及资源高效利用理念，建立了深部矿井煤-热共采的理论与技术框架，开展了深层干热岩水压致裂机理及相关理论的研究，并取得初步研究成果。

(1) 建立了深部矿井煤-热共采的理论与技术框架，并得到初步应用

在广泛深入调研分析和总结我国高地温矿井类型及其成因基础上，基于绿色开采及资源高效利用理念，提出了深部矿井煤-热共采的概念，从工程背景、科学问题、关键技术和工程实践等方面阐述了煤-热共采的基本理论与技术框架(图 11)和煤与地热资源共采工艺概念模型(图 12)。结合唐口煤矿地质与水文条件，采用数值模拟方法对矿区地热水资源量进行了估算与评价，并基于深部矿井煤-热共采理论，提出了唐口煤矿的矿井地热综合利用方案。

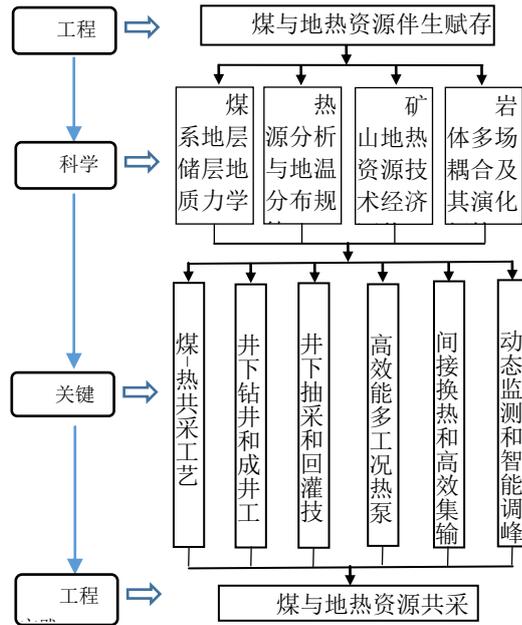


图 11 煤与地热资源共采理论及技术框架

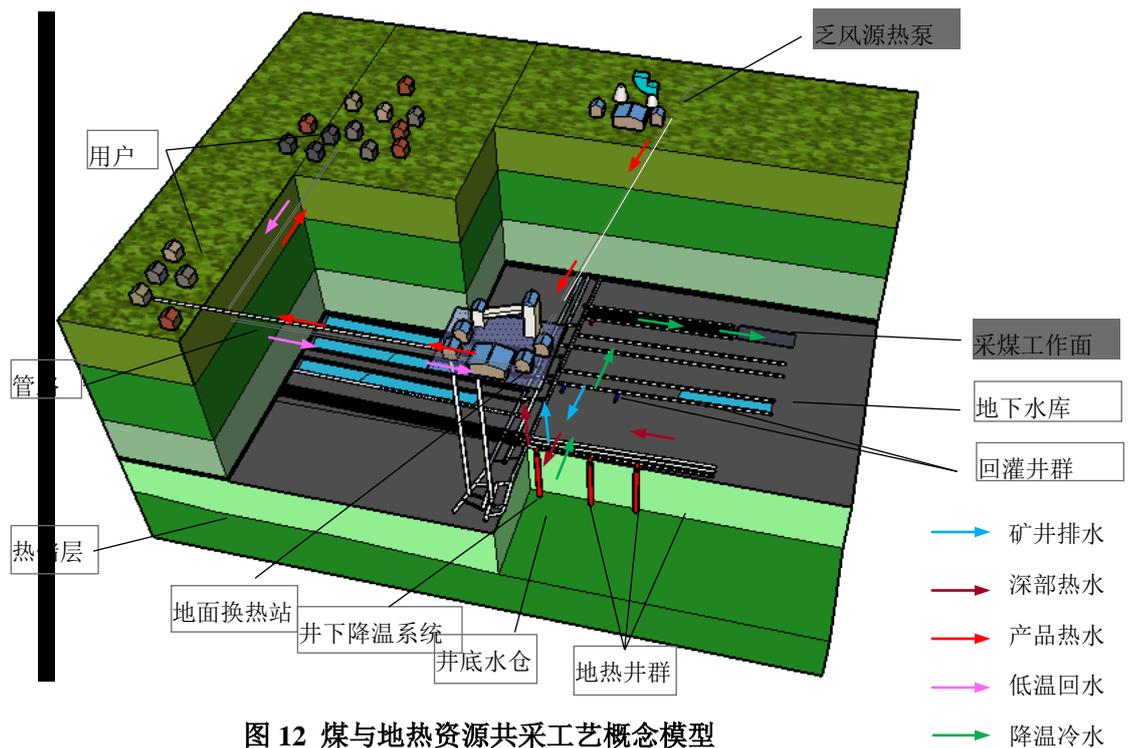


图 12 煤与地热资源共采工艺概念模型

(2) 开展了深层干热岩水压致裂机理及相关理论的研究

①利用岩体热物理参数测试仪器（图 13），研究了温度、压力作用下岩体导热系数的演变特性；②基于“600℃ 20MN 高温高压岩体三轴试验机”（图 14），研究了高温岩体在水压作用下裂缝的扩展规律；③分析了压裂液动力黏度系数与岩体弹性模量对扩展压力与裂缝形态的影响，认为动力黏度系数增大会提高裂缝扩

展压力，同时裂缝宽度会增大；④揭示了压裂液对高温井筒的冷却效果会导致热冲击现象，并在井眼表面附近产生拉应力；钻孔附近区域经历了两次冲击震动，即弹性波和热波；温度对花岗岩水力压裂影响的机理不是岩石力学参数的变化，而是高温下岩石压裂液作用产生的热冲击。



图 13 岩体热物理参数测试仪器图



图 14 600°C 20MN 高温高压岩体三轴试验机

该研究方向本年度发表 SCI 论文 3 篇，EI 论文 2 篇，核心论文 1 篇，授权国家发明专利 2 项。