

应急管理部重点实验室 2023 年度报告

实验室名称：煤矿灾害预防与处置应急管理部重点实验室

依托单位：应急管理部国家安全科学与工程研究院
重庆大学
山东科技大学

通讯地址：北京市海淀区学院路丁 11 号

邮政编码：100083

联系人：赵毅鑫

手机：13601386961

传真：010-62331189

电子邮件：zhaoyx@cumtb.edu.cn

填报时间：2024-1-31

内容提纲

一、重点实验室年度目标及完成情况

煤矿灾害预防与处置应急管理部重点实验室 2023 年度围绕实战、攻克关键技术和科研产出等方面开展科技攻关，完成了年度目标，情况如下：

(1) 在实战方面，何满潮院士牵头完成中科院咨询项目“川藏铁路岩体工程关键科学与技术问题”，项目成果上报党中央、国务院；原创成果开挖补偿法助力“南北大动脉卡脖子工程”兰海高速木寨岭隧道全线贯通；与中铁十五局集团签署首个战略科技支撑项目，解决横断山脉大亮山隧道卡脖子工程重大需求；组织两次土耳其地震现场科学考察，全面推进跨断层测量国际对比计划，加快“一带一路”防灾减灾国际合作机制建设；自主研发慧眼二号摄像头和端头放煤支架在井下进行了试验并取得了阶段性的成功；出具冲击倾向性鉴定报告 2 份、冲击地压危险性评价及防冲设计报告 19 份、安全论证报告 3 份、防冲年度计划报告 1 份；参加了 4 个冲击地压矿井的风险排查专家会；编写行业标准 2 项。作为《煤矿安全规程》一通三防部分牵头单位和组长胡千庭、副组长聂百胜等、地质保障组参与单位和专家吴燕清教授，修编《煤矿安全规程》，同时重庆大学吴燕清教授任组长专家组，于 2023 年 2 月 14 日 - 2 月 23 日，历时 10 天，分别对芦河煤矿、玉溪煤矿、伯方煤矿、望云煤矿、宝欣煤矿、太阳煤矿及沁裕煤矿进行了煤矿防治水专项会诊。

参加国家矿山安监局监察组织活动，对中铝宁夏能源集团有限公司（重点企业）及所属煤矿企业安全生产综合整治开展重点督导和检查；应多个省等邀请担任煤矿事故调查专家 3 人次；应重庆市应急局等邀请参与非煤矿山安全生产检查 10 余次；担任国家能源会诊专家、国家矿山局会诊专家等多人次，修编《煤矿安全规程》，同时专家组对多个煤矿进行了煤矿防治水专项会诊并参加了应急管理部应急管理“招榜挂帅”项目验收；颁发行业标准 1 项。

(2) 在攻克关键技术方面，高瓦斯突出矿区关键技术研究、极薄煤层长壁开采方法、深部岩爆过程模拟实验系统及其实验方法和 NPR 钢高通量纳米孪晶共格面积测试技术取得突破极；提出了深井围岩系统能量补偿冲击机理及分体控能防冲关键技术，研发了高应力构造复杂区巷道防冲卸压与围岩大变形协调控制技术。综放开采端头放煤关键技术、大采高综放工作面煤壁片帮控制关键技术、深部开采瓦斯防治关键技术，采动影响下高抽巷围岩控制关键技术均取得了突破。

(3) 在科研产出方面, 新获批纵向项目 8 项(111 基地项目 1 项, 国家自然科学基金 7 项); 王琦教授荣获教育部长江学者特聘教授、ISRM 优秀青年岩石工程奖; 何满潮院士、左建平教授、王琦教授、郭志飏教授、王炯副教授入选 2023 全球前 2% 顶尖科学家榜单; 王炯副教授荣获中组部青年拔尖人才; 江贝副教授荣获全国煤炭青年科技奖。获批“十四五”国家重点研发计划课题 1 项, 国家自然科学基金 2 项。谭云亮获评俄罗斯工程院外籍院士、1 人获国家万人计划青年拔尖人才、3 人获评山东省泰山学者青年专家, 2 人获山东省优青, 获“全国煤炭青年五四奖章”, 1 人获评煤炭青年科技奖, 1 人获中国职业安全健康协会青年科技奖; 获批山东省高等学校“青创计划”团队 4 项; 获批冲击地压灾害防控方面的国家自然科学基金 10 项; 获得重庆大学新增国家级高层次人才 1 人, 国家级高层次青年人才 3 人, 续聘外籍院士 1 人, 新增重庆“杰青”2 人、“巴渝学者”青年学者 1 人; 获教育部科技进步一等奖、重庆市自然科学一等奖等省部级奖励 20 余项, 授权专利 40 余项, 发表高水平 SCI 论文 50 余篇。

二、重点实验室主要成果

实验室围绕煤矿开发中冲击地压、矿井热害、巷道(隧道)大变形等典型灾害的防控技术、工程创新应用和应急管理的痛点难点问题, 开展新技术、新方法、新装备等集成攻关, 取得如下主要科研成果:

(1) 高瓦斯突出矿区 110 工法关键技术研究及应用

以山西焦煤华晋沙曲矿区为工程背景, 进行了高瓦斯突出矿区 110 工法关键技术研究及应用研究。构建了高瓦斯突出矿区 121 工法和 110 工法采掘工作面瓦斯分区模型, 明确了两类开采工法下瓦斯分布规律; 研究了 110 工法不同通风系统下瓦斯运移特征, 优选确定了适合于高瓦斯突出矿区的 110 工法通风系统, 研发了高瓦斯突出矿区 110 工法瓦斯防治成套技术; 确定了高瓦斯突出矿区 110 工法应力优化和瓦斯防治关键技术参数, 开展了多参量应用效果评价, 研究成果为高瓦斯突出煤层的安全高效开采提供了新途径。

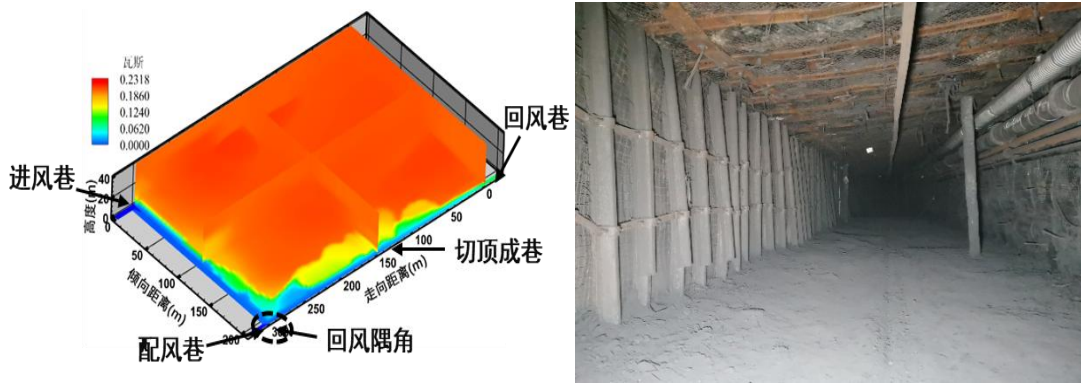


图 1 采空区瓦斯运移分布规律及沙曲矿区 110 工法成巷应用效果

(2) 高地温隧道灾变机制与灾害防控技术研究

系统性综述了高地温隧道的经典案例、灾害形式、分类分级标准和灾害防控技术，在此基础上，对高地温隧道灾害形式进行了分类，并提出了以干热型和水热型为两大类的高地温隧道热害分类分级标准，完成了高地温隧道“双隔双控”技术中的 NPR 桁架结构、换热结构、隔热结构的设计，优化了高地温隧道“双隔双控”系统工艺，为高地温隧道现场示范应用奠定基础。

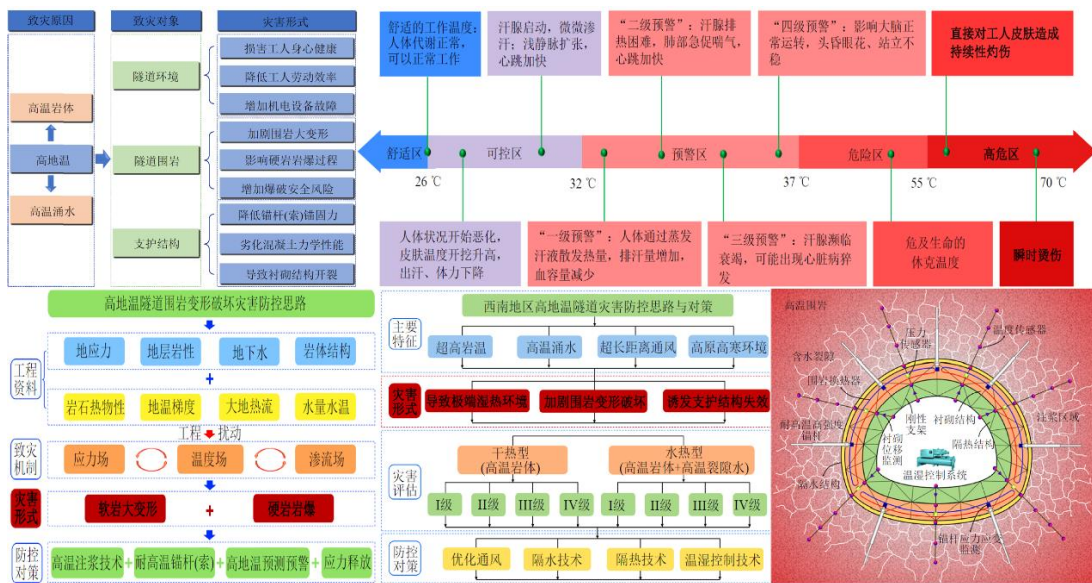


图 2 高地温隧道灾变机制与灾害防控技术体系

(3) 砂岩四面卸载矿柱岩爆机理研究

针对工程现场矿柱岩爆灾害的特征及发生机制问题，采用立方体红砂岩开展真三轴四面卸载条件下矿柱岩爆实验和单轴压缩实验，获得岩石试样的破坏全过程、声发射特征、速度场特征、碎屑特征以及能量演化特征。结果表明：单轴压缩破坏和矿柱岩爆过程相似，但两者的破裂模式不同；卸载过程会使得损伤加剧，而且围压越高，由卸载引起的损伤越大；单轴压缩破坏的碎屑呈现块状和板状，

而矿柱岩爆的碎屑为长条状；速度场呈现出先增加再降低的特征，在岩爆发生时刻达到峰值，且最大速度随着围压的增大而增大；矿柱岩爆声发射频谱分布范围不同，低围压时声发射频谱集中在 300~350 kHz，高围压时声发射频谱集中在 150~200 kHz；单轴压缩破坏声发射波形能量分布呈现复杂的多频率带特征，而矿柱岩爆的声发射波形能量分布呈现单一频率带特征，且不同频率带与裂纹类型存在较好的对应关系。

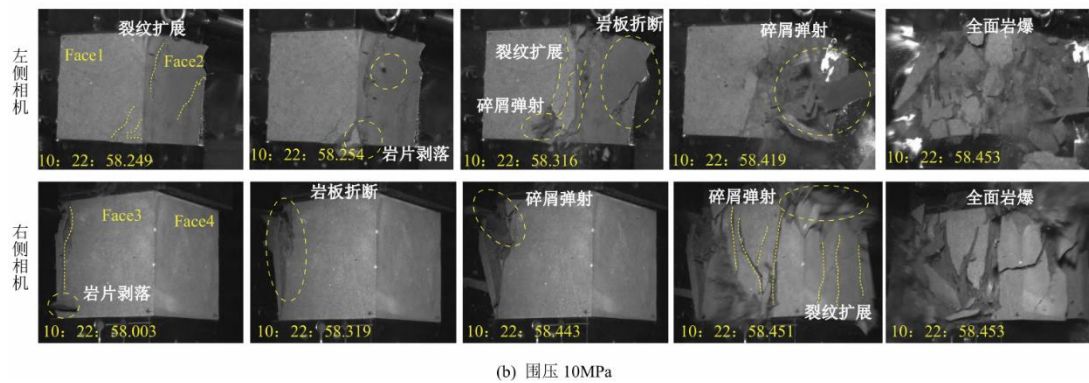


图 3 砂岩四面卸载矿柱岩爆过程

(4) 深部岩体水岩耦合损伤机制及分形特征研究

资源开采进入深部后地质力学环境更加复杂，研究深部岩体水岩耦合作用下微观机理及强度软化规律，具有重要的现实意义。通过水文地质调查研究，系统分析了巷道围岩的软化因素，针对砂岩地层、泥质砂岩地层以及煤岩地层开展了 CT 扫描分析、核磁共振测试以及岩石力学实验。通过实验数据分析发现：基于砂岩吸水 T2 谱和单轴压缩力学曲线，得到不同含水率作用下砂岩力学强度软化及微观响应机制。重构了不同含水率作用下砂岩试样破坏三维裂隙(图(1)-(3))。基于煤岩强度软化及微观响应机制和不同含水率下孔隙结构演化规律，得到煤岩与水相互作用微观结构变化规律。分析了不同含水率作用下砂岩试样破坏试样截面二值化图像，获得试样破坏后裂缝随含水率的变化。

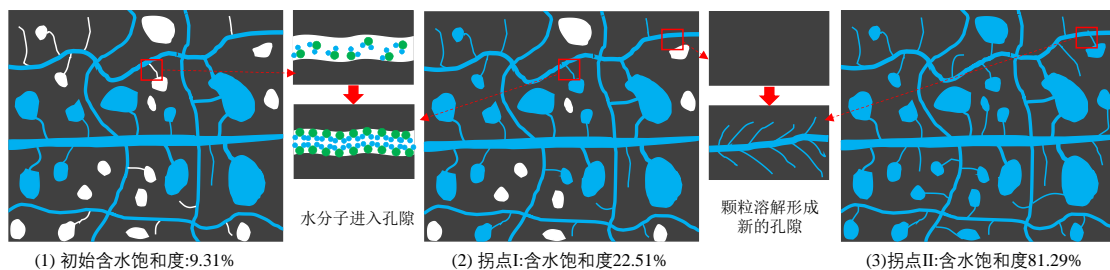


图 4 不同含水量下孔隙结构演化规律

(5) 大强矿回采巷道失稳机理及切顶护巷开挖补偿-开采补偿控制对策研究

对于大强矿动压巷道围岩大变形破坏特征，结合工作面地层岩性、原支护情况和相邻工作面布置情况，系统分析了回采巷道开挖过程中围岩应力演化路径，以及采动影响下巷道围岩应力、结构演化特征及失稳机理。研究了断层区回采巷道结构失稳过程，揭示了切顶卸压在动压巷道和断层区回采巷道的控制机理。通过数值模拟分析了不同切顶高度对回采巷道围岩的影响，并且确定最佳的切顶关键参数。进行断层区回采巷道有、无切顶情况下，巷道围岩垂直应力和剪切应力的对比。将切顶护巷技术应用于工程现场，通过对巷道围岩累计变形量和单体压力的持续监测，验证了该支护方案在动压巷道和断层区回采巷道的可行性。

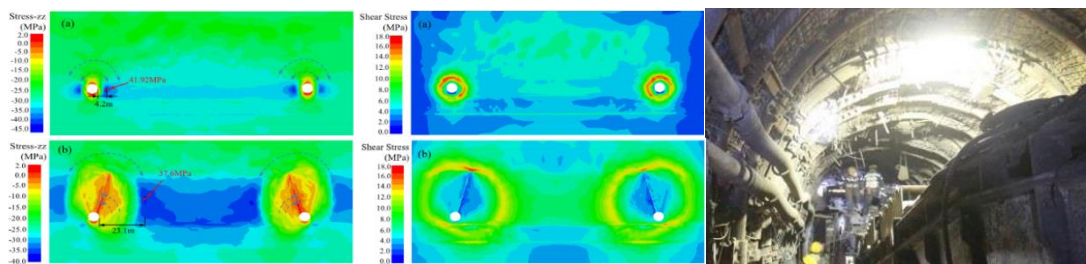


图 5 回采巷道应力演化规律及断层区回采巷道切顶护巷施工效果

(6) 巷道顶板定向切缝对采空区顶板碎胀及支承压力的作用机制研究

针对巷道顶板定向切缝对采空区顶板碎胀及支承压力的作用机制的科学问题，研发了一种具有碎胀效应的相似材料，完成了无煤柱自成巷开采的物理模型实验，对比分析了巷道切顶及非切顶条件下采空区顶板碎胀特征，同时利用 DIC 监测系统与应变分析系统，揭示了上覆岩层的运移规律，并获得了定向切顶对巷道围岩的卸压规律。通过数值软件对无煤柱自成巷开采的数值分析，得出了在工作面推进过程中切顶巷道围岩的支承压力演化规律。该研究在无煤柱自成巷采空区碎胀特征、围岩卸压机制等方面取得重要进展。

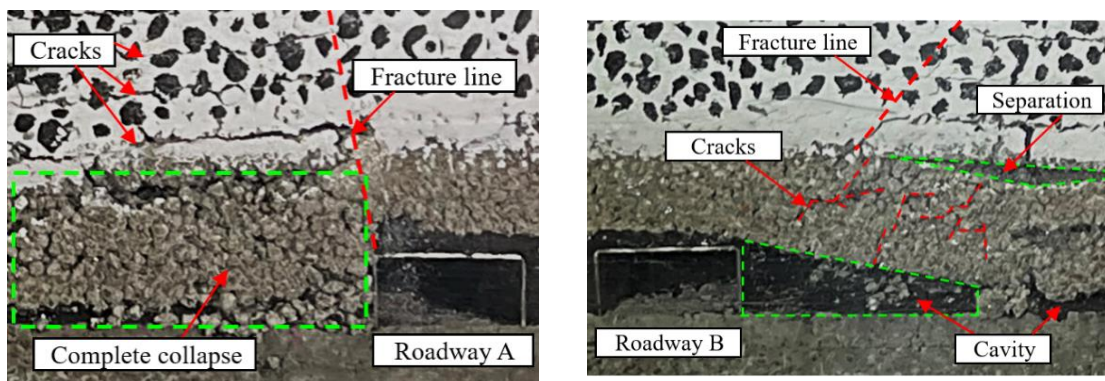


图 6 巷道切顶及非切顶条件下采空区顶板碎胀特征

(7) 岩爆致灾数值模拟研究

针对深埋隧道围岩体发生岩爆灾害致灾机理、破坏特征和能量转化问题，对不同卸载速率条件下和不同主应力条件下花岗岩岩爆实验过程进行二维/三维的数值模拟研究，运用数字图像处理 and FDEM 方法构建了二维非均质花岗岩数值模型，运用该模型模拟了不同卸载速率下的岩爆实验过程。该研究在岩爆实验数值模拟研究方面和卸载速率对岩爆破坏影响机制及能量转化特征研究方面取得重要进展。

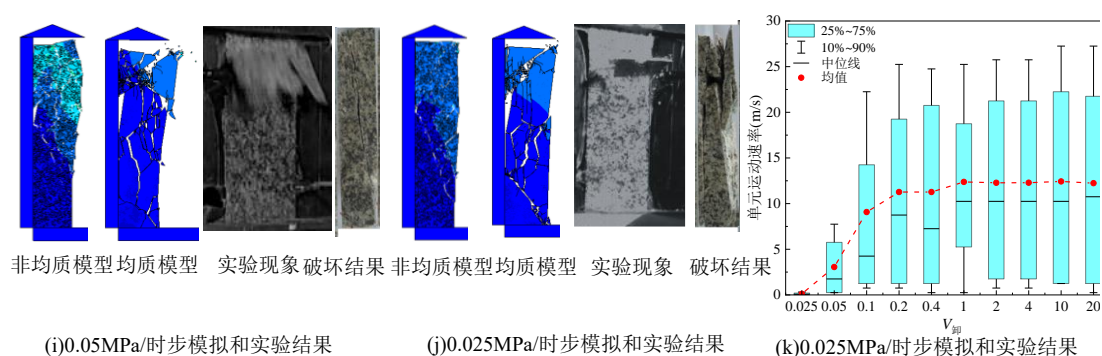


图 7 不同卸载速率条件二维岩爆实验模型破坏过程及速率分布

(8) 高能级滚石防护系统研究

针对山区高能级滚石冲击防护的科学问题，以特克隧道进口-依卜隧道出口区域边坡高位-特高位危岩体为研究对象，采用 Rockfall 软件完成各大危岩体运动轨迹数值模拟研究，获取其最终点位置及冲击能量等重要信息。基于自主研发的力学试验系统，通过大量锚索静-动力学试验揭示了 2G-NPR 锚索的破坏特征及变形机理，构建了外力荷载条件下 2G-NPR 锚索的本构关系，并且对比突出了其优良的吸能特性。同时，研发了高强度 NPR 防护网关键扣件，进行了其抗滑力及抗冲击测试，优化设计方案保证整体性，探究了防护网节点的关键力学参数。开展了 NPR/PR 防护网抗冲击能力模型试验及数值模拟研究，分析总结不同冲击位置及不同冲击角度试验结果及数据，揭示了动态冲击下防护网的吸能及变形规律，验证其在工程应用中的可行性及必要性。在此研究基础上，提出了高能级柔性防护系统，形成了针对 NPR 防护系统的新型施工工艺。在高能级滚石防护领域取得了创新性成果，解决了高能大变形柔性滚石防护系统的急迫需求，为川藏地区类似防护工程提供了一种新的技术手段。



图 8 关键扣件抗滑力试验及高能级柔性防护系统

(9) 穿富水断层破碎带隧道围岩变形破坏机理及 NPR 锚索支护控制机制

针对穿富水断层破碎带隧道围岩变形破坏机理及 NPR 锚索支护控制机制等科学问题进行了研究。对于在梯度荷载作用下，穿断层破碎带隧道进行了地质力学模型试验研究，分析了隧道在穿越断层破碎带过程中围岩及支护结构位移和应力场，结合非接触红外温度测量系统，揭示了隧道在穿越富水断层破碎带过程中围岩和支护结构之间能量传递与耗散规律。通过离散元（PFC）耦合有限元（FLAC3D）软件，通过改变隧道间距、岩层倾角及侧压力系数等关键参数，获得隧道突泥涌水以及围岩变形力学机制。然后在此基础上，结合隧道原支护设计方案以及工程现场围岩破坏特征，分别提出 NPR 锚索和 NPR 锚索+桁架支护设计方案，并开展物理模型试验和现场试验，分析了 NPR 锚索支护下围岩塑性区以及裂纹扩展规律，进行了不同埋深以及水压条件下围岩及支护结构变形规律。该研究在穿富水断层破碎带隧道围岩破坏、突泥涌水机理以及变形控制方面取得重要进展。

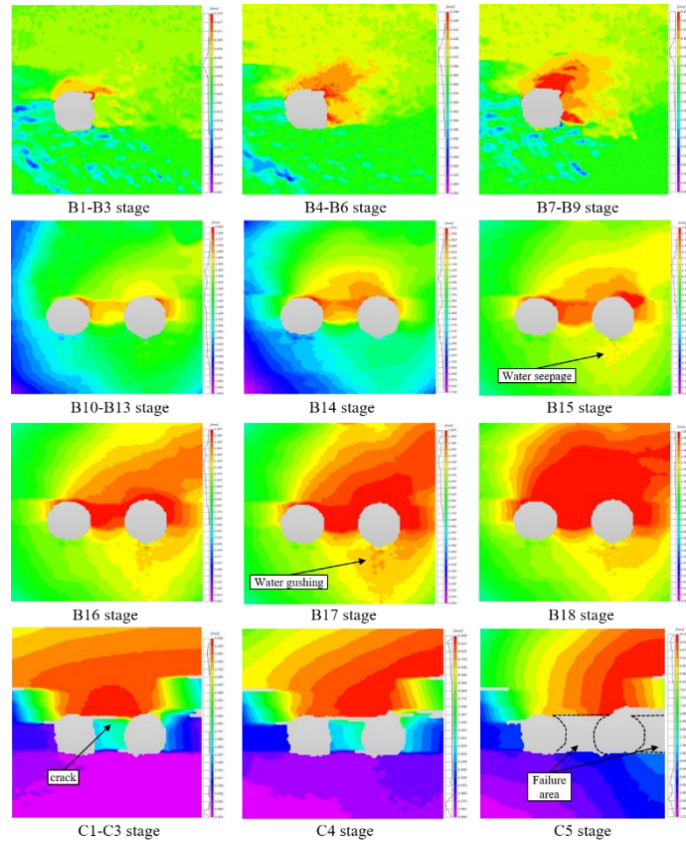


图 9 开挖和超载过程中围岩位移场

(10) 深部煤岩多尺度孔隙结构表征及瓦斯运移机理研究

针对深部煤岩多尺度孔隙结构表征及瓦斯运移机理的科学问题,对深部低阶煤进行了气体吸附法、压汞法、饱和离心核磁共振实验和 μ CT 实验研究,对深部低阶煤多尺度孔裂隙结构进行多尺度精细化表征,同时结合核磁共振吸附实验,揭示了深部低阶煤多相态甲烷赋存特征。基于核磁共振波谱分析实验、红外光谱实验和 X 射线光电子能谱实验确定了大强煤岩大分子结构,在此基础上,基于分子模拟技术,模拟了煤单分子结构,不同孔径(0.5~5nm)的狭缝孔结构在不同温度、压力及不同含水率条件下对单组分气体和不同摩尔比的混合气体的吸附特性。采用 CT 技术获取深部低阶煤岩数字岩心模型,从压力场和速度场的角度,对甲烷在数字岩心模型中受孔隙结构各向异性及甲烷压力梯度作用下的渗流特性进行可视化分析。该研究在深部煤岩多尺度孔隙结构表征、气体吸附微观机理等方面取得创新性成果。

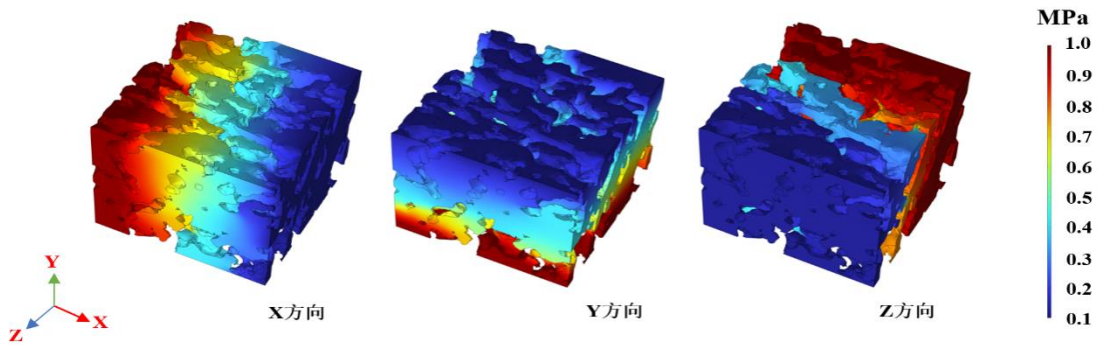


图 10 深部低阶煤渗流特性

(11) 深井围岩系统能量补偿冲击机理及分体控能防冲关键技术

为破解高应力诱发型冲击地压防控难题，本项目针对深部巷道能量补偿冲击机理及判据、冲击能量源辨识及监测预警、“卸-支-断”分体防控三个方面的科学问题进行了攻关，研制了变刚度煤岩动力破坏试验系统，揭示了围岩三体能量源演化规律及能量补偿冲击机理，提出了围岩冲击的刚度-能量判据及煤体冲击倾向性修正方法；提出了巷帮深部强释能-浅部弱损伤的分段扩孔卸压技术，构建了基于三体能量源的“卸-支-断”协同防冲技术体系，提升了防冲技术的时空耦合性及防控效果。研究成果达到国际领先水平，获教育部科技进步二等奖 1 项。

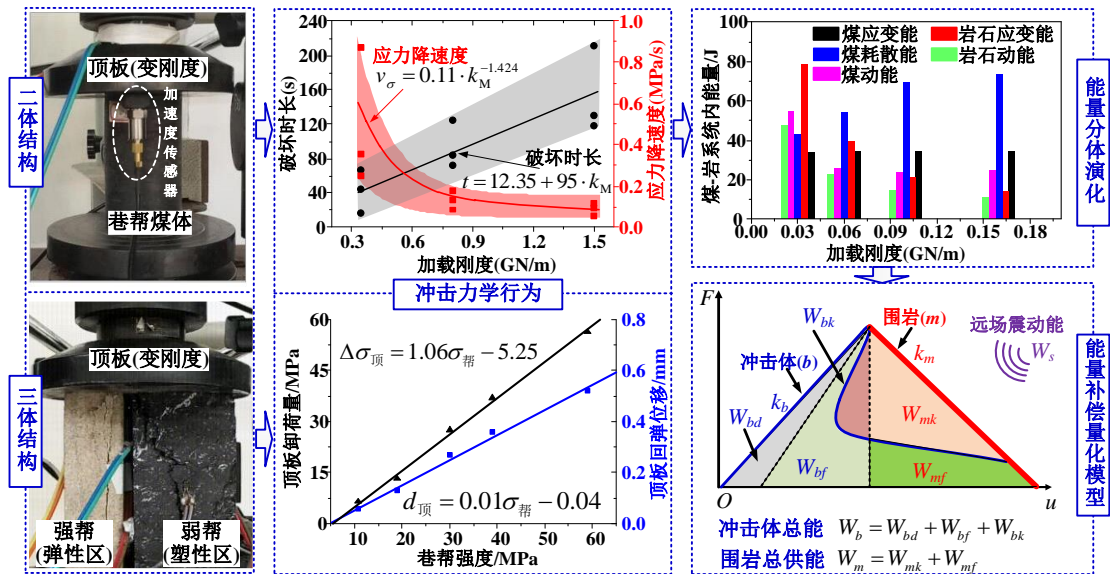


图 11 围岩三体能量源演化规律及能量补偿冲击机理

(12) 深部超大断面密集硐室群围岩长期稳定控制技术

井下超大断面硐室（群）处于深部高地应力、大型设备循环振动及冲击动载等构成的复杂应力环境下，施工和维护难度极大，给硐室的安全利用带来极大风险。首次构建了硐室埋深、断面面积、围岩综合抗压强度和围岩完整性系数的指

标体系，建立了基于模糊综合聚类分析的煤矿硐室地质力学等效分类方法，并提出了超大断面密集硐室群布置设计优化与低扰动施工方法，形成山东省地方标准；揭示了多硐室群围岩连锁失稳机理并提出了相应力学判据，形成了深部超大断面硐室群围岩稳定性判识理论与方法；提出了深部超大断面硐室围岩协同“抗能”支护机理，研发了新型高强超塑吸能支护材料与新型高强吸能支护装备，建立了深部硐室群围岩长期稳定性递进式加固技术，搭建了围岩长时变形失稳智能化监测预警平台，为深部超大断面硐室群围岩长期稳定性控制提供了强力保障。相关成果获中国职业安全健康协会科技奖一等奖。

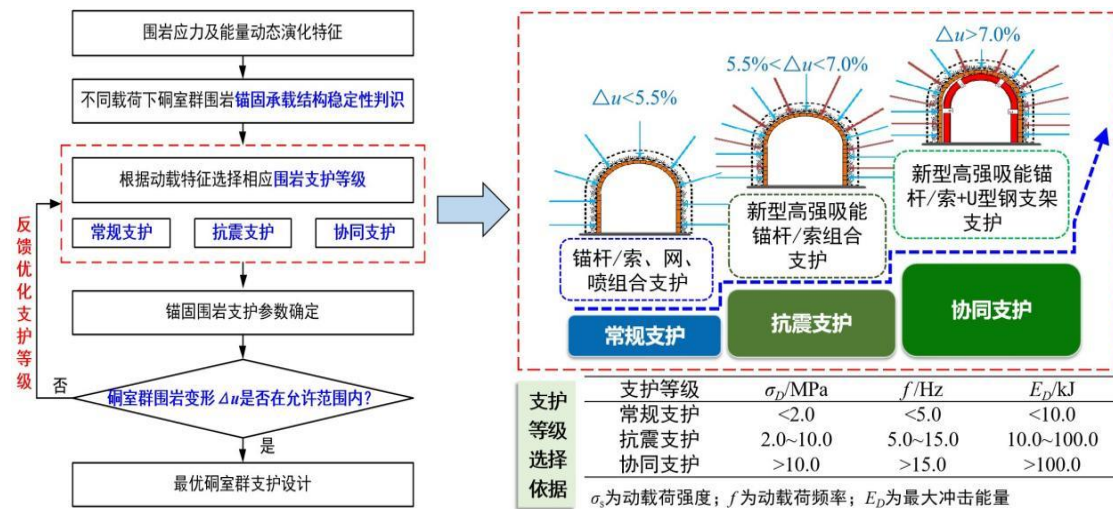


图 12 硐室群围岩递进式支护设计方法

(13) 高应力构造复杂区巷道防冲卸压与围岩大变形协调控制技术

针对冲击地压矿井变直径钻孔防冲卸压与巷道围岩变形控制难以兼顾的问题，以实现地堑构造区高应力巷道冲击地压与围岩大变形的协调控制为研究目标，通过理论分析、室内试验、数值模拟与现场测试相结合的方法，系统的开展了高应力构造复杂区巷道防冲卸压与围岩大变形协调控制机理及关键技术研究，揭示了地堑构造区高应力条件下巷道冲击地压发生机理；阐明了强卸压抑制巷道冲击地压并激发围岩大变形的双重作用机制，探究了变直径钻孔防冲卸压机理及对巷道围岩变形控制的双重效应和影响因素，提出变直径钻孔卸压方法和巷道围岩锚固层卸压钻孔局部充填强化技术，构建了地堑构造区高应力沿空巷道冲击地压与围岩大变形协调控制技术体系。研究成果获中国岩石力学与工程学会科技进步奖二等奖 1 项。

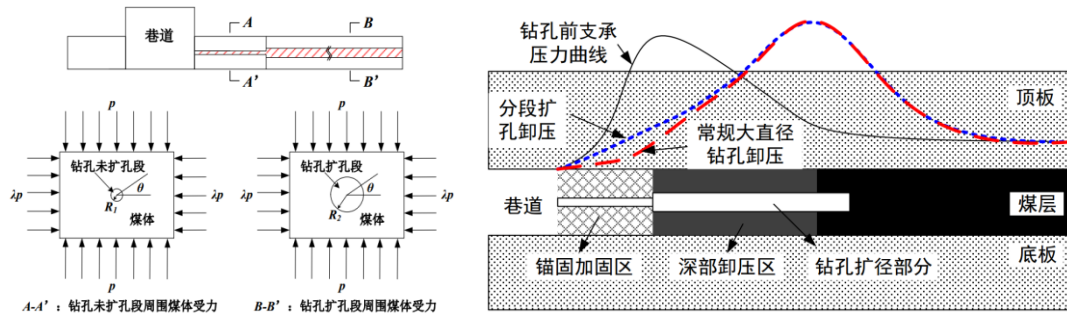


图 13 变直径钻孔周围煤体受力模型及卸压机制

(14) 深部软岩巷道底鼓机理及防治关键技术

为解决蒙西弱胶结软岩地区深部巷道底鼓难题，从深部软岩巷道底鼓特征及演化规律、巷道底鼓分类分级方法及演化预判、巷道典型底鼓机理及预测、巷道底鼓分类防治技术四方面关键问题进行研究，获取了沿空巷道非对称性底鼓演化规律，揭示采掘影响下巷道底鼓定量响应；建立了考虑采掘工程地质条件的深部巷道底鼓分级方案，给出了深部巷道底鼓分级判识指标体系，提出了潜在底鼓区域及可能级别预判方法；探究弱胶结软岩中深部巷道底鼓分类发生机理，提出巷道底板破坏程度估算方法，搭建了深部巷道底鼓分级分类防治技术。研究成果达到国际先进水平，获中国岩石力学与工程学会科技进步奖二等奖 1 项。

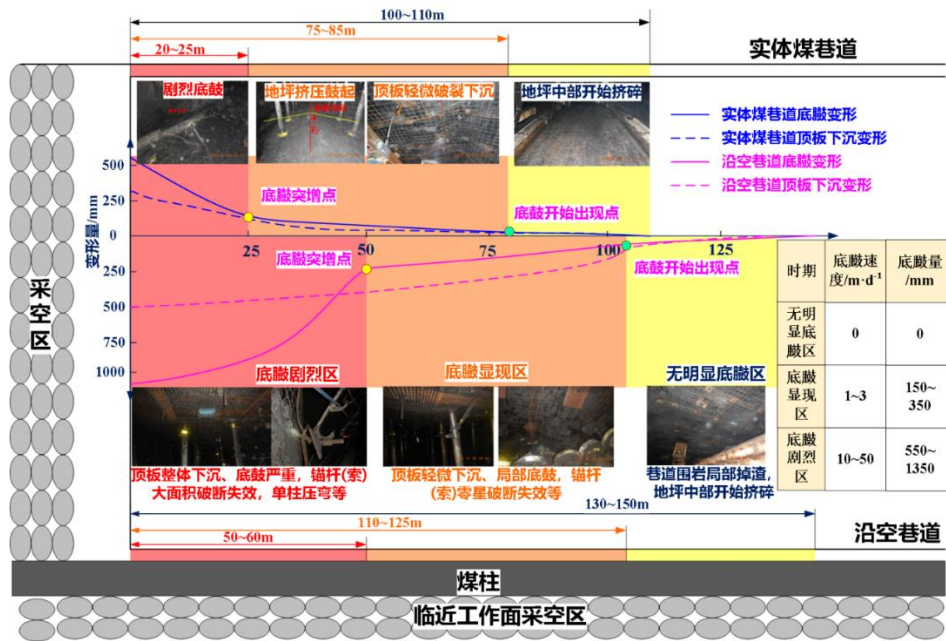


图 14 回采期间巷道分区分类底鼓演化规律

(15) 千米深井综采工作面覆岩微震显现特征与围岩区域化控制技术

深部厚煤层开采超前采动应力水平升高，影响范围增大，围岩裂隙发育程度升高，开采扰动效应增强，超前采动影响范围达到 200 m，基岩全厚进入采动影

响范围,随着顶板层位的升高,微震事件数量逐渐减少,但高能级事件明显增多;这表明岩层强度增大,破碎程度降低,破碎块度增大,破坏过程中释放的能量多。高采动应力和大采动范围驱动围岩破坏失稳;裂隙发育顶板破断模式的分区性导致支架阻力分布的区域性,表现为推进方向上来压距离的弱周期性和面长方向上来压时间的非同步性。图 15 通过工作面微震数据发现微震事件主要集中于强扰动区,超前萌生距离达到 180 m,与锚杆(索)拉力计确定的超前影响范围大致相同。纵向发育高度位于煤层之上 300-350m 与基岩厚度相当,岩层移动角约为 75°;微震事件呈现明显的空间非均布特征,高能级事件随着推进速度的升高而增加,能量高于 10 000 J 的事件数量占比达到 8.4%,微震震级呈正态分布。研究发现顶板活动受断层构造、采动强度和推进速度影响,微震事件活跃度升高,工作面分区则导致微震事件时空分布的非对称性;提出了基于微震信息的顶板损伤度确定方法,对 140502 工作面基本顶稳定程度进行了预测。

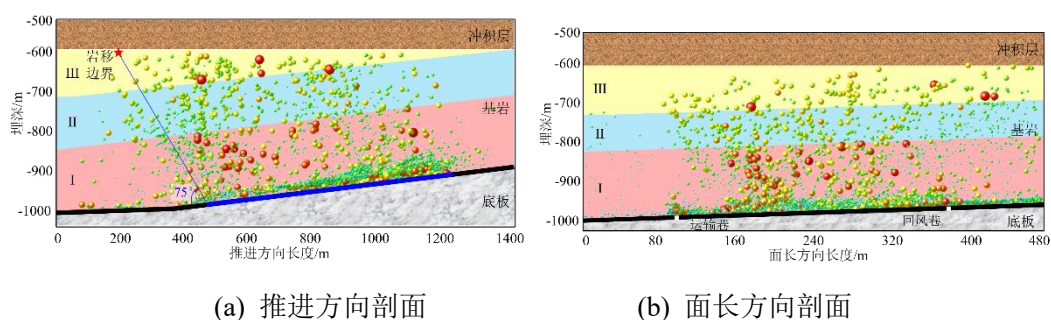


图 15 微震事件分布特征

(16) 基于支架刚度的大采高工作面煤壁稳定性控制

深埋薄基岩大采高工作面煤壁片帮严重、顶板动载冲击强烈,为提出基于支架刚度的煤壁稳定性控制方法,在工作面回撤期间对支架静态刚度和煤壁裂隙进行监测,得到 ZY18000/30/65D 型液压支架刚度范围介于 50 MN/m 至 450 MN/m 之间,支架刚度变化范围较大,且在工作面长度方向上,支架刚度表现出中部小、两端大的分区特征。通过地质雷达和测线法对煤壁裂隙进行探测,发现煤壁中部裂隙发育、破坏严重,煤壁两端裂隙较少、相对完整的现象;构建了大采高工作面支架-围岩系统刚度力学模型,如图 16 所示,通过位移法求解得到了煤壁压力与支架刚度、直接顶刚度和采空区刚度均呈负相关,与煤壁刚度呈正相关。解释了支架刚度与煤壁裂隙分区分布特征的对应关系。发现支架刚度对煤壁的控制受直接顶刚度影响严重,以斜率为 0.01 的切线为界将支架刚度对煤壁压力的影响

分为显著影响区和缓慢影响区，在支架选型时将支架刚度控制在切线左侧区域，即可保证支架刚度对煤壁的最佳控制效果，如图 16 所示；建立了支架-围岩系统刚度数值模拟模型，分析得出煤壁位移及内部裂隙长度随支架刚度增加，先快速减小，后缓慢变化的趋势。模拟结果与理论分析相符。基于煤壁稳定性控制提出了工作面最小支架刚度为 100 MN/m，研究结论为类似工作面支架选型提供指导。

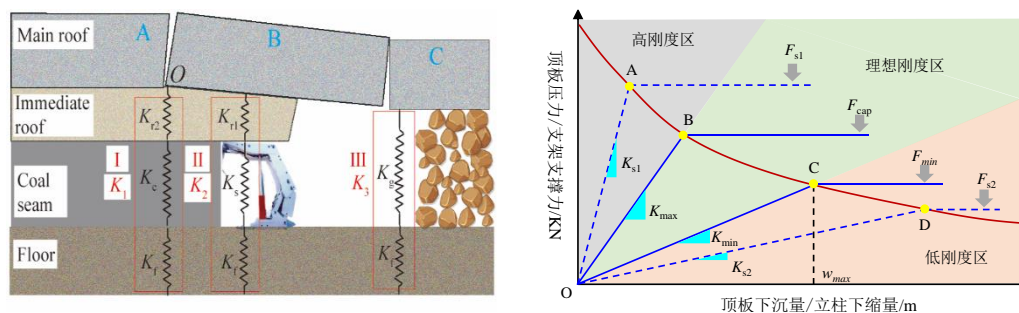


图 16 支架-围岩系统刚度力学模型及基于煤壁稳定性的支架刚度选型方法

(17) 深部超长工作面顶板分区破断特征与控制方法

实测了深部超长工作面顶板微震活动与采动应力分布特征，如图 17 所示，发现了该类采场顶板破断有异于常规的“O-X”模式，存在分区和动态迁移现象，将超前采动应力大于基本顶初始屈服强度区域定义为峰值影响区，揭示了旋转性采动应力驱动超前裂隙发育机理；构建了考虑采动裂隙与原生裂隙影响下的基本顶分区模型，确定了不同区域顶板边界条件，分析了不同边界条件下暴露基本顶极限承载能力随岩板走向长度和倾向宽度的变化特征。提出了深部超长工作面采场围岩区域化控制方法，即峰值影响区域内，液压支架采用成组移架方式，减少支架反复升降对顶板的循环扰动，降低破碎顶板漏冒等事故的发生概率，非峰值影响区顶板破碎程度低，可保持较好的完整性，支架阻力大，液压支架采用常规单台移架方式，如图 17 所示。工作面采用围岩区域化控制方法后，工作面中部支架卡死移动困难、支架倾斜位态失控、支架局部构件损坏等现象显著减少，工作面环境得到充分改善，有效提高了工作面推进速度。

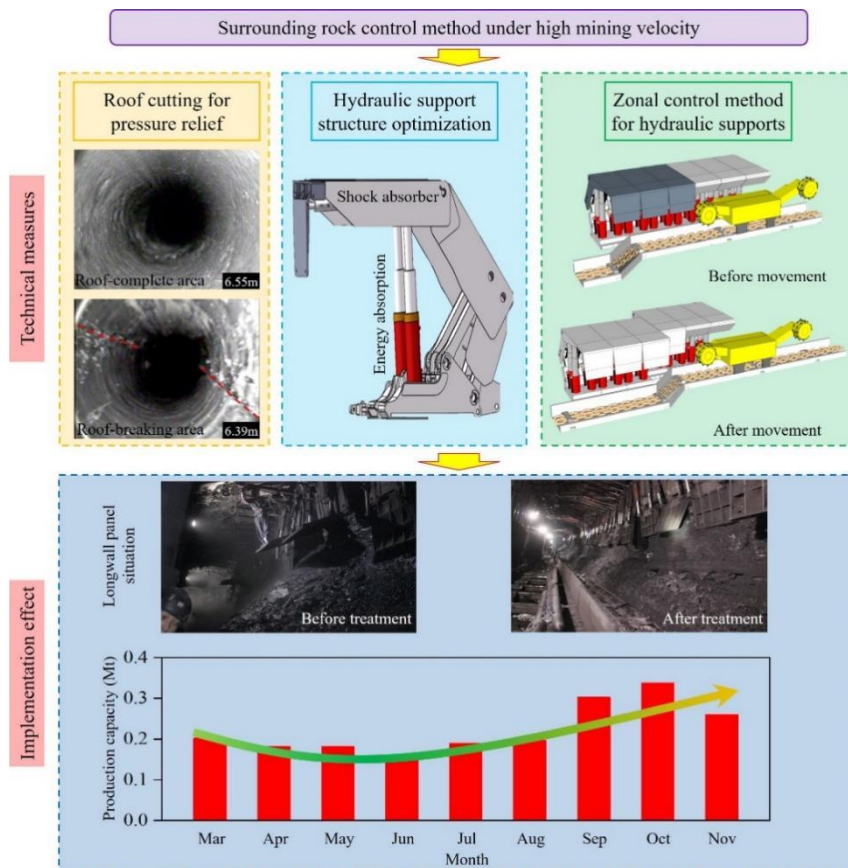


图 17 围岩区域化控制

(18) 厚煤层开采端头区顶煤破碎机理与放煤技术

基于中厚板理论建立了端头区域顶板受力平衡方程，揭示了端头区域顶板呈弧形三角板形式破断；破断位置多在采空区后方 30-40m，端头区域矿压显现并不强烈，端头顶板弧形三角板破断是不利于顶煤破碎的。揭示了工作面超前段的超前支承压力、侧向支承压力叠加；工作面推进会导导致支承压力增加和水平主应力减小，这是有利于端头顶煤破碎的主控因素。基于 Bergmark 模型构建了不同边界条件下端头区域顶煤放出体理论模型，揭示了工作面端头推进方向上放出体超前发育的形态特征，研究发现端头区域顶煤放出体发育良好，确定了“一刀一放”放煤步距。得到了“煤柱和支架”双向约束下过渡支架和巷道支架顶煤放出体理论方程和形态特征，为巷道支架放煤口位置和放煤口尺寸确定提供了理论依据。

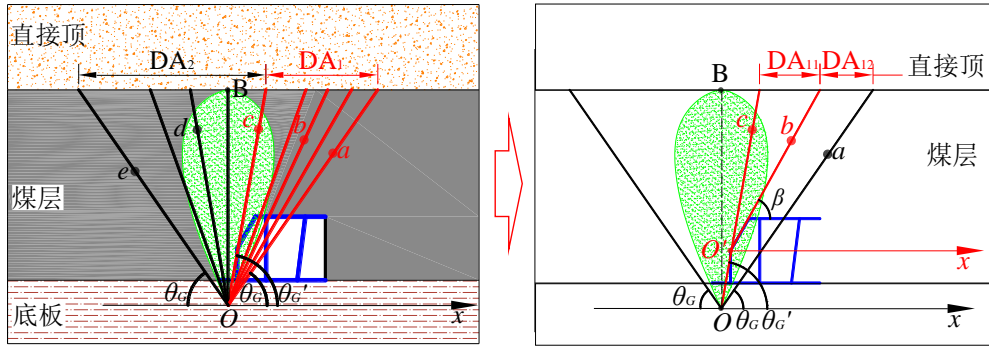


图 18 顶煤放出体理论模型构建

(19) 图像识别智能放煤技术升级与推广应用

提出了基于图像分析的煤岩块体角脊特征提取与三维瓦德尔圆度测量算法，研究了煤岩块体一维、二维以及三维形态学特征，构建了以“投影面积为主，形状特征为辅”的“尺寸+形状”特征融合的煤岩块体体积预测模型；开展综放工作面放煤过程高仿真数值计算，研究了煤流堆积特征，建立了“形状+叠压”因素影响下的煤流体积含矸率预测模型，实现了“由表及里”的煤流体积含矸率精准识别。

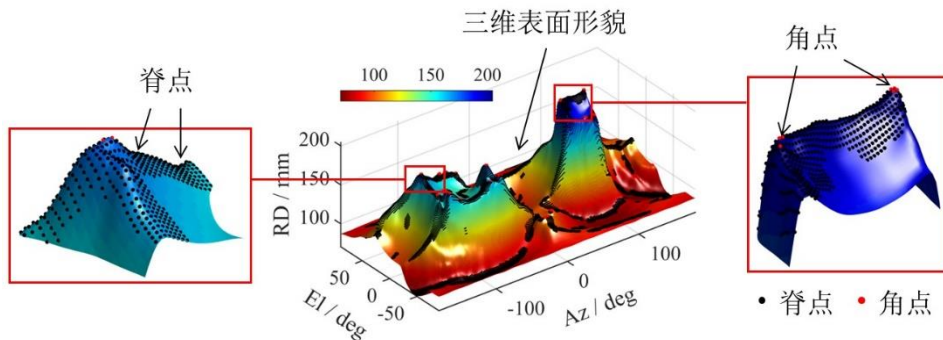


图 19 煤岩块体角脊特征

(20) 不同捕收剂辅助下液体介入煤矸差异温降规律及降温机理分析

“液体介入+红外图像”的煤矸识别新方法是一种基于主动干预的思路在红外图像下利用煤与矸石之间的温差辨别煤与矸石的新方法。其中，寻找一种经济高效，拥有良好识别效果的介入液体是该方法的关键。引入不同浓度的不同捕收剂作为介入液体，开展了不同浓度不同捕收剂介入下液体介入煤矸识别实验，发现了捕收剂的介入可以显著扩大煤矸之间的温度差，不同捕收剂达到最佳提升效果的浓度不同，如图 20 所示。得到了基于无烟煤(煤)和砂质泥岩(矸石)表面性质差异的活性煤泥捕收剂和烃类油捕收剂的有效介入浓度。发现煤油的提升效果最好，且浓度越高效果越好。液体介入条件下煤矸温度的差异与煤与矸石之间润湿性的差异有关。

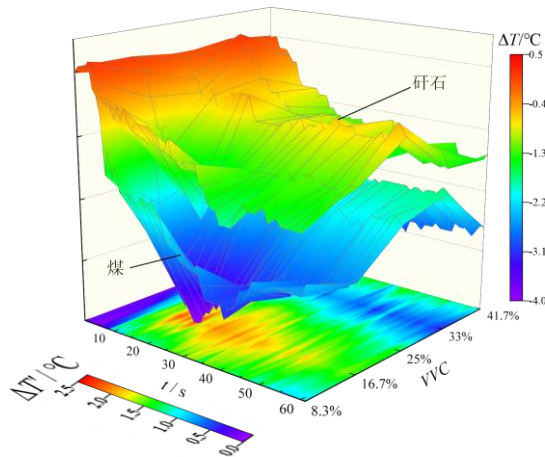


图 20 活性煤泥捕收剂组的 VVC 与温变云图

(21) 水平分段综放开采受边壁影响的顶煤放出体理论模型

总结了水平分段综放开采条件下不同倾角的边界条件对放出体形态变化的影响规律，提出了受边壁影响的顶煤放出体理论模型；对散体介质力学中的 Bergmark-Roos 模型进行改进，得到了受倾斜边界影响的近顶/底板侧顶煤放出体理论边界方程；初步给出了不同煤层倾角条件下放出体理论方程中关键参数的确定方法。对比分析了多种放煤工艺在水平分段综放开采中的残煤分布特征；多轮放煤工艺能够减少工作面中部的顶煤损失，顶板侧逆序放煤工艺能够明显减少顶板侧残煤量，提出了提高顶煤回收率的三轮放煤末轮分段逆序放煤工艺。

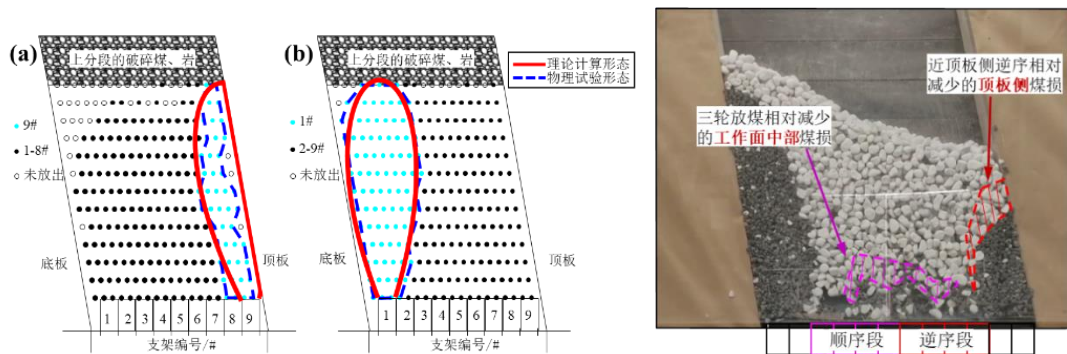


图 21 理论放煤形态与物理试验结果图及三轮放煤末轮分段逆序放煤工艺

(22) 地质灾害防治关键技术

聂百胜教授领衔完成的项目“构造-热作用下煤储层微纳结构-物性突变规律及其动力演化机理”获自然科学奖一等奖。吴燕清教授提出多层介质无线电波透视 CT 成像算法和提交地质异常体识别软件；构建“光”模地质异常体正反演测试平台；研究成果成为煤炭行业回采工作面地质保障列装的重要技术之一。提出国家行业标准审查稿。

(23) 瓦斯防治技术

胡千庭、李权贵教授团队对水力压裂物理试验的相似理论发展、试验材料和装置的演变、常用监测检测方法的特点和适用范围等方面进行了总结。成果以“**煤岩水力压裂物理试验研究综述及展望**”为题发表于《煤炭科学技术》。卢义教授团队发表的题为“**我国煤矿水射流卸压增透技术进展与战略思考**”论文入选《煤炭学报》2022年第9期最受关注论文TOP6。在 *International Journal of Mining Science and Technology* 发表文章，“**压力-姿态自适应调节煤层水射流割缝器的切换机制与优化研究**”。梁云培教授团队围绕准备获取关闭/废弃煤矿甲烷资源量数据、正确把握井下甲烷排放机制及监测方法、革新技术手段利用井下甲烷或封堵其排放路径是关闭/废弃煤矿甲烷减排的重要理论基础，开展综述，为煤炭行业甲烷减排提供理论依据和方向。许江教授：**巷道结构对突出流体冲击特性的影响性试验研究**，实验室许江教授在《煤炭学报》“卓越科学家”特刊发表题为“**巷道结构对突出流体冲击特性的影响性试验研究**”的文章。

(24) 开采过程中的动态演化

于斌教授：**特厚煤层开采坚硬顶板覆岩结构及其演化特征分析**，在《煤炭科学技术》“创刊50周年”专辑发表题为“**特厚煤层开采坚硬顶板覆岩结构及其演化特征分析**”文章。刘新荣教授团队发表题为“**频发水库地震及岩体劣化耦合作用下锯齿状结构面岸坡的动态损伤演化**”为三峡库区边坡长期稳定性分析提供了理论依据。主要成果有：1) 设计并开展了振动台模型试验，揭示了微震、小震及中强度地震荷载作用下的岸坡典型渐进破坏模式。2) 利用离散元数值模拟，进一步分析平直结构面和锯齿结构面岸坡随持续地震荷载的变形及损伤演化过程。3) 对比了不同结构面类型岸坡在持续地震荷载下的安全系数的变化特征。

三、应急管理业务贡献

(1) 攻克“卡脖子”工程—云南省昌保高速昌宁隧道

2023年1月5日，经过四年零五个月的奋战，由广西北部湾投资集团直属企业广西路桥集团投资建设的云南省昌宁至保山高速公路(以下简称“昌保高速”)昌宁隧道实现全幅贯通，标志着昌宁隧道“卡脖子”工程被正式攻克。2023年1月5日下午，伴随着隧道的全幅贯通仪式，顺利召开了软岩大变形隧道建造关键技术论坛，何满潮院士受邀作题为开挖补偿法的专题报告，讲解了平行于普氏法

和新奥法的开挖补偿法，阐明了相关力学原理。详细介绍了 NPR 新材料的超常力学特性。以新理论、新材料和新技术为解决滇藏地区重大工程建设奠定基础。

(2) 土耳其地震科学考察

2023 年 2 月 6 日，土耳其中南部和叙利亚北部发生了 7.8 级强震和 7.5 级强余震，造成数万居民伤亡，损失极其惨重。鉴于土耳其地震罕见的发震模式和特殊的科学意义，于 3 月 24 日至 4 月 5 日组织开展了首次土耳其地震科学考察。6 月 8 日至 14 日，何满潮院士带队，组织开展了第二次土耳其地震科学考察。初步掌握了代尼兹利盆地主要活动断裂的古地震活动和破裂特征，考察了 Pamukkale Fault、Babadağ Fault、Honaz Fault 等三条活动断裂，并初步确定了两个国际对比研究计划“面向地震预测的跨断层测量”的牛顿力监测安装点。何院士指出，组织地震科学考察对于解决地震监测预报世界性难题、服务土耳其“一带一路”国家防灾减灾及经济建设具有十分重要的科学意义和经济社会意义。

(3) 助力“南北大动脉卡脖子工程”兰海高速木寨岭隧道全线贯通

木寨岭特长隧道全长 15.226 公里，是迄今为止甘肃省最长的公路隧道，最大埋深 629.1 米，隧址区处于多个地质构造板块交界地带，横贯 6 处褶皱与 12 条大断层破碎带，在国内外公路隧道建设中实为罕见属极高应力区，隧道内收敛严重，“软弱炭质板岩+超强的地应力”，最大变形量达到惊人的 3.145 米，给支护系统带来了严重冲击，被院士、专家及学者称之为“隧道建设史上罕见的世界性难题”。2016 年，渭武高速公路木寨岭特长隧道进入建设阶段。2017 年 9 月，孙钧院士、何满潮院士等在内的岩土力学和隧道界顶尖专家会聚木寨岭，对渭武高速木寨岭特长隧道进行会诊，科技攻关，切实解决隧道建设过程中遇到的技术难题。2023 年 7 月 6 日，鏖战 8 年，渭武高速木寨岭特长隧的最终贯通，宣告“米级”软岩大变形这一世界难题的最终攻克，诸多科研创新成果开创了我国公路隧道软岩大变形治理的先河，多项研究成果在全国 10 多个隧道项目中推广应用。

(4) 服务滇中引水项目

2023 年 8 月，组织“科创中国”大地感知与智慧控灾技术产业科技服务团赴云南调研，为滇中引水工程提供科技服务。调研旨在积极响应国家号召，加强对滇中引水工程的技术支持，解决工程实施中的难题，推动工程的顺利实施。调研期间，专家团队先后进行了工程实地勘查和数据分析，针对项目所面临的地质问题，提出了一系列可行的技术方案。服务团与滇中引水建管局丽江分局、昆明理

工大学、云南省地下工程重大突水突泥灾害防控协同创新中心召开座谈会。专家团队与项目负责人和施工团队进行了深入交流，充分了解了项目实施中的困难和挑战。基于深入分析，专家们针对性地提出了一些建设性的解决方案，并结合当地实际情况，为工程的推进和顺利实施提供了重要的技术指导。

(5) 微震监测

在口孜东 121302、140502 工作面进行微震监测。揭示采煤工作面周期来压、地下应力场的分布规律等信息，及时发现和解决生产中的问题，提高生产效率和安全性，指导煤矿安全生产。

(6) 支架刚度测量

在赵固二矿 14030、11012，山东能源古城煤矿 1123 进行支架刚度测量。当地质条件相同时，增加支架刚度在一定范围内能有效控制煤壁前方位移，提高煤壁稳定性。根据理论分析和数值模拟结果，赵固二矿 14030 工作面支架刚度应至少大于 100 MN/m 可控制煤壁稳定。继续增加支架刚度非但不能进一步控制煤壁稳定性，造成资金浪费，当顶板来压时还有可能使支架不能及时让压，压死支架，或者导致顶板破碎严重，架间漏顶。

(7) 举办或参加防冲培训班

谭云亮教授为国家能源宁煤集团组织的两期矿压高级培训班授课、“冲击地压与顶板管理”专题培训会，谭云亮教授和赵同彬教授作为授课教师参加了山东能源集团组织的防冲实操培训专业技术高级班。山东科技大学能源学院举办神东煤炭集团“实用矿山压力理论技术和应用”培训班。赵同彬教授作为授课教师参加国家矿山安全监察局山东局煤矿安全培训中心举办 2023 年度山东省煤矿冲击地压防治培训班，山东科技大学能源学院作为协办单位负责煤矿冲击地压实验装备及技术培训。

(8) 冲击地压危险性评价及安全论证

谭云亮教授作为组长，参加了陕西彬州市 4 个煤矿的冲击地压风险排查。山东科技大学出具了煤岩冲击倾向性鉴定报告 2 份，对义桥煤矿 3 煤层及顶底板、阳城分公司 3 煤及顶底板冲击倾向性进行了鉴定。山东科技大学出具冲击危险性评价及防冲设计报告 19 份，对石拉乌素煤矿 12 北 3 掘进工作面、兴隆庄煤矿西翼胶轮车辅巷、中翼下部运煤巷和中翼胶轮车巷、横河煤矿东 6-1 工作面、霄云煤矿 2301 采掘工作面、唐口煤业 5311 采掘工作面、530 采区的冲击危险性、阳

城煤矿矿井及 3 煤层、-650m 水平、济宁三号煤矿 23 下 04 掘进工作面、23 上 05 工作面、23 下 03 掘进工作面、巴彦高勒煤矿 33110 掘进工作面、33103 掘进工作面、南屯煤矿 93 上 26 工作面、单县丰源实业公司二采区、安居煤矿剩余资源开采的冲击危险性、金鸡滩煤矿矿震风险进行了评价，并给出了防冲设计方案。山东科技大学出具安全论证报告 3 份，对万福煤矿 1305 掘进工作面底煤防冲安全性、1305 掘进工作面巷道支护安全性、南屯煤矿 93 上 26 工作面防冲安全性进行了论证。山东科技大学出具冲击地压防治年度计划报告 1 份，给出了万福煤矿 2024 年的冲击地压防治年度计划。

(9) 编写行业标准

谭云亮教授主持编写了能源行业标准《煤矿沿空巷道巷旁支护分类指标及支护方式》(NB/T 11262-2023)，2023 年 5 月发布，2023 年 11 月实施。赵同彬教授参编矿山安全行业标准《煤矿巷道矿山压力显现观测方法》(KA/T 11-2023)，2023 年 10 月发布。

(10) 举办或参加水害防治培训班及编制行业标准

为山西潞安煤化工集团、山西兰花集团、宁夏中铝集团、安徽皖北煤电集团 240 余名技术干部开展安全培训。吴燕清教授主持编写了国家矿山安监局行业标准《回采工作面无线电波透视探测方法》(KA/T 12-2023)，2023 年 10 月发布，2024 年 1 月实施。

四、科研条件建设情况

(1) 建成高通量 NPR 共格孪晶界面密度测试平台

2023 年 3 月，实验室首创研制了高通量 NPR 共格孪晶界面密度测试平台，实现了 NPR 锚杆索共格孪晶界面密度的精确统计；该试验平台为 NPR 系列新材料研发升级的核心装备，标志着 NPR 钢高通量纳米孪晶共格面积测试取得突破性进展，高强高韧 NPR 钢新材料研发迈入新阶段。

(2) 构建煤矿灾害动力学机理试验平台

获批科技部大型设备专项经费 1119 万元，购置“微纳米工业 CT 机”等 3 台设备，获批设备处大型仪器设备研发项目 7 项。

(3) 升级了图像识别智能放煤图像采集系统—“慧眼二号”

针对放顶煤工作面放煤口附件空间狭小、粉尘大的实际情况，升级改造了图像识别智能放煤图像采集系统，如图 22 所示，论证了图像处理电路的可靠性与集成度，缩小了图像采集装置外观尺寸；开发了图像识别智能放煤边缘计算工作站，以及适用于放顶煤工作面的超疏水强疏油镜头表面自清洁仿生纳米涂层材料，揭示了疏水疏油自清洁机理，形成高粉尘、高水雾复杂条件下的煤岩图像高质量采集与边缘计算图像处理技术。



图 22 慧眼二号

(4) 微震监测系统

检波器获得采场震动数据后通过传输电缆接入监测主站，采集到的应力波信息由井下环网交换机上传至地面网络中心后分配至信号分析系统。采用定量爆破法对岩体属性进行标定，在运输巷实施 2 次定量爆破，根据标定炮的位置和能量得到应力波在岩体中传播的速度和能量衰减系数，最终确定将能量高于 100 J 的应力波识别为顶板微震信号。工作面推进过程中，煤岩破坏产生的震动信号和采煤设备产生的震动信号均会被检波器捕捉，可根据波形对噪音信号进行过滤，进而从检波器捕捉的数据中识别出有效微震事件。

(5) 支架刚度监测系统

支架刚度是支架-围岩系统刚度的重要组成部分，支架刚度对围岩稳定性有着重要影响。支架刚度一般指支架在增阻期间的刚度。山东科大中天安控矿用本安型无线压力位移传感器，设备型号 GUD3500。安装位置如图 23 所示，为更准确的对支架刚度进行稳定监测，选定在工作面回撤期间监测，此时支架状态稳定且受顶板压力长期作用，监测效果好。

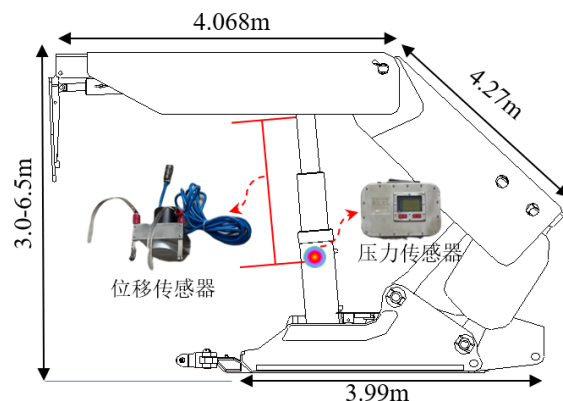


图 23 支架刚度监测设备布置

(6) 自主设计了放煤实验平台

该自主研制的放煤试验平台长×宽×高为 570mm×340mm×310mm，下层为主要部分、包括模拟支架顶梁的平面、模拟支架掩护梁的斜面、模拟工作面中部插板与尾梁的 8 个放煤口。该试验平台采用人工手动控制，操作简单减少了复杂机构过多可能出现的机械故障，并且设置了多个支架及放煤口，能够更好地模拟现场条件，通过同时使用多个支架进行不同组合，可以达到模拟不同放煤工序的模拟，通过铺设不同高度散体材料，可以达到不同煤层赋存条件的模拟。

五、队伍建设与人才培养情况

(1) 队伍建设

2023 年度，实验室以全面提升师资队伍整体素质为中心，以大力培养杰出人才为重点，通过培养与引进相结合，加强学术带头人、优秀中青年骨干的培养，取得显著成果，其中，何满潮院士进入“2023 全球前 2% 顶尖科学家榜单” career（终身科学影响力排行榜）；左建平、王琦、郭志飏、王炯进入“2023 全球前 2% 顶尖科学家榜单”（年度科学影响力排行榜）。团队获得教育部高等学校科学技术进步奖一等奖 1 项，煤炭工业协会科技进步奖一等奖 1 项、二等奖 1 项、三等奖 1 项，获批“十四五”国家重点研发计划课题 1 项、国家自然科学基金 2 项，企业横向项目 10 余项。山东科技大学获批山东省高等学校“青创计划”团队 4 项。重庆大学主办、承办国际化会议 2 次，研究人员作学术报告 112 人次，邀请国内外专家来访及作学术报告 260 余人次。

(2) 人才培养

实验室积极开展高层次人才和青年人才培养工作，王琦当选教育部长江学者

特聘教授，并荣获“ISRM 优秀青年岩石工程奖”；王炯当选中组部万人计划青年拔尖人才；江贝荣获全国煤炭青年科技奖；张权入选 2023 年度江苏省科协青年科技人才托举工程；郭平业晋升教授，高玉兵晋升副教授。实验室在开展科研工作的同时，将科研问题引入教学工作，培养学生解决工程问题的实践创新能力。实验室积极开展高层次人才和青年人才培养工作，王家臣教授入选全国创新争先奖、全球前 2% 顶尖科学家—“终身科学影响力排行榜”、全球前 2% 顶尖科学家—“年度科学影响力排行榜”、爱思唯尔中国高被引学者；杨胜利教授获北京市教育系统教书育人先锋；王兆会副教授获 2023 年度煤炭青年科技奖；魏炜杰讲师入选中国科协青年人才托举工程、中绿盟十佳优秀毕业论文。山东科技大学谭云亮获评俄罗斯工程院外籍院士、1 人获国家万人计划青年拔尖人才、3 人获评山东省泰山学者青年专家，2 人获山东省优青，获“全国煤炭青年五四奖章”，1 人获评煤炭青年科技奖，1 人获中国职业安全健康协会青年科技奖。重庆大学成功引进弘深优秀学者 2 人、准聘副教授 2 人、弘深青年教师 5 人、科研博士后 3 人、专职科研岗 1 人，数量列居全校前列。新增国家级高层次人才 1 人，国家级高层次青年人才 3 人，续聘外籍院士 1 人，新增重庆“杰青”2 人、“巴渝学者”青年学者 1 人。

六、下一年度目标

(500 字以内)

聚焦国家能源发展战略与煤炭行业重大需求，紧密围绕应急管理部重点实验室建设要求，继续开展矿山开采灾害防控技术咨询与服务工作，参加冲击地压、顶板灾害、煤与瓦斯突出等灾害防治方面的现场或线上评审会、咨询会等 10 次以上；煤矿企业灾害预防与处置等方面的技术服务或开发类项目 10 项以上；参加煤矿现场救援或事故处置或防灾技术指导 3 次以上；组织应急管理人员/煤矿工人矿山灾害救援技能培训 2 次以上；配合应急管理部，在矿区组织矿山灾害科普、应急演练和宣传 2 次以上；在多项关键技术上取得突破，成果转化 5 项以上；获省部级科技奖励 3 项以上，行业或地方标准（草案）2 项以上。

同时，以实验室计划任务书为目标，全面、不断完善推进实验室建设，突出需求导向，有组织科研的责任与时代担当，密切与应急管理部、国家矿山安监局、煤矿企业开展合作，不断创新推出科研成果，做好应急管理部技术支撑，参加法

规编写与审查工作，更好的服务国家需求与行业发展，进一步推进高水平人才队伍建设，继续加强科研条件建设。

七、其他需要说明的情况

无

八、依托单位审核意见与自评估结果

(依托单位给出审核意见和自评估结果, 500 字以内)

按照应急管理部《应急管理部重点实验室考核评估细则（试行）》（应急厅[2022]10号）及《关于提交应急管理部重点实验室2023年度报告的通知》要求，煤矿灾害预防与处置应急管理部重点实验室依托单位应急管理部国家安全科学与工程研究院、重庆大学和山东科技大学，对年度报告分别进行了公示和自评价，认为报告完整，2023年度目标完成，当年度及时按要求报送相关材料，取得了一定研究成果，支撑服务了应急管理业务；2023年度，实验室整体运行良好，体制机制完善健全，在研究水平、业务贡献、基础建设与人才培养等方面均较好发展。