



中国煤炭科工集团有限公司
煤炭科学技术研究院有限公司
CCTEG CHINA COAL RESEARCH INSTITUTE

煤矿深部开采煤岩瓦斯复合动力灾害 防控技术及思考

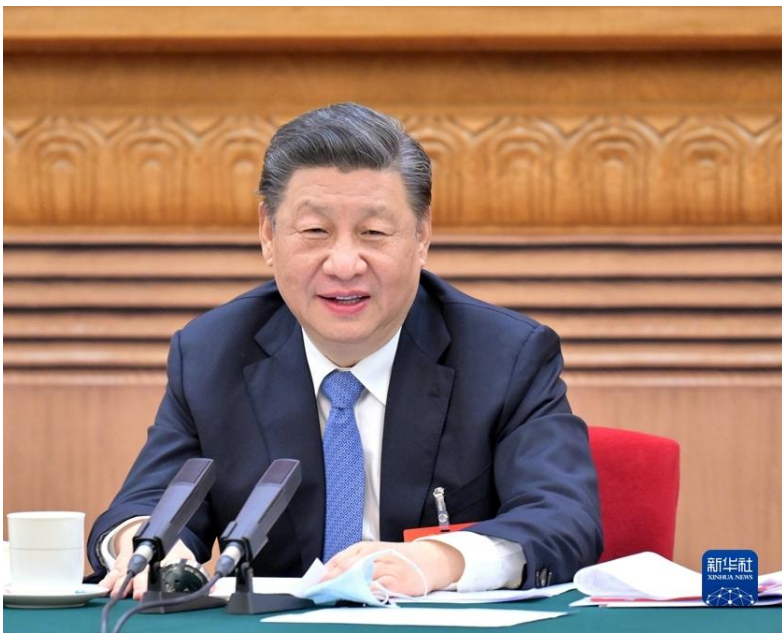
汇报人：舒龙勇 研究员

煤科院安全分院副院长/中国煤科二级首席科学家

2025.05 河南·焦作

背景1：煤矿深部开采已成常态且是必然趋势

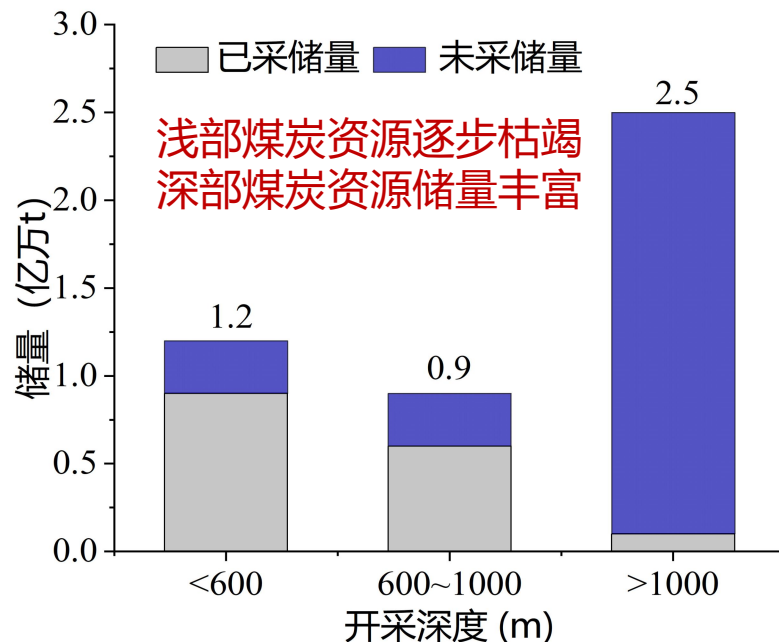
- 煤炭是我国兜底保障能源，煤矿深部开采已成常态且是必然趋势
- 煤炭是保障国家能源安全的“压舱石”“稳定器”
- 深部煤炭资源丰富，60%埋深超800m，53%埋深超1000m
- 采深达600m煤矿已有384座，达800m有153座，其中40座超1000m



“能源的饭碗必须端在自己手里”

“富煤贫油少气是我国的国情，以煤为主的能源结构短期内难以根本改变”

习近平总书记对煤炭地位和作用多次做出重要指示



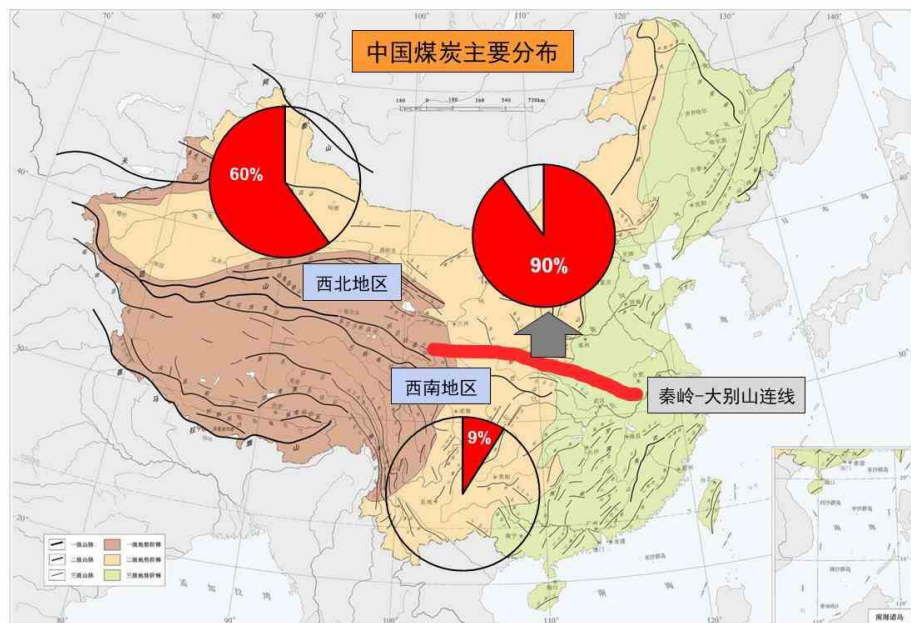
我国煤炭资源开采现状

背景2：煤炭生产重心加快向中西部转移

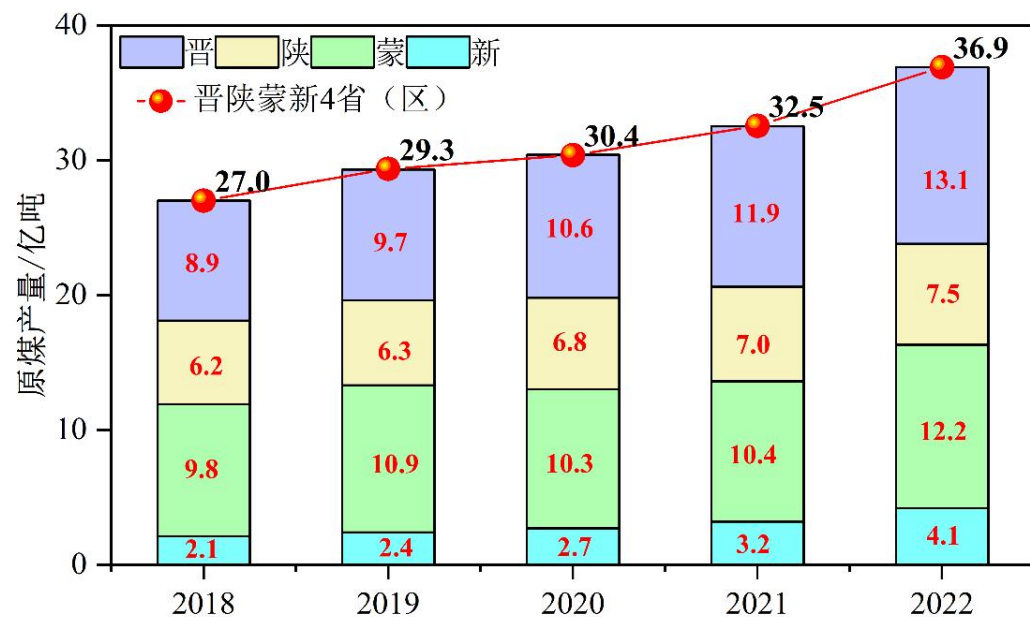
■ 中西部厚煤层安全高效开采直接关系到国家能源安全

- 2023年我国煤炭产量47.1亿吨，晋陕蒙新占81.3%（2024占比81.6%）

十四五以来，原煤产量西部占比增加4.2%，中部、东部、东北下降2.2、1.5、0.5个百分点



我国煤炭资源北多南少，西多东少



晋陕蒙新4省（区）原煤产量占比

中东部已经全面进入深部开采，西部正逐步进入且部分已经进入深部开采

汇报提纲

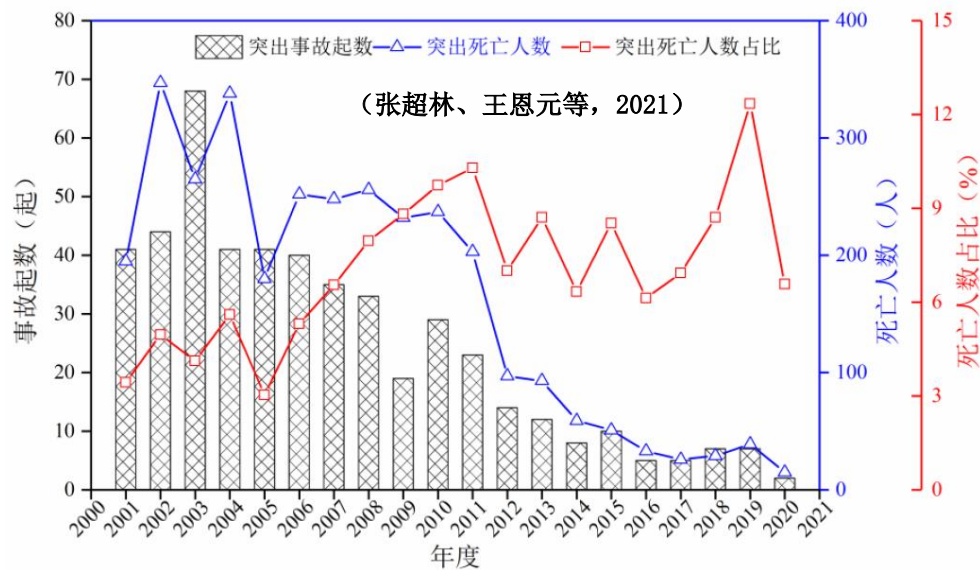
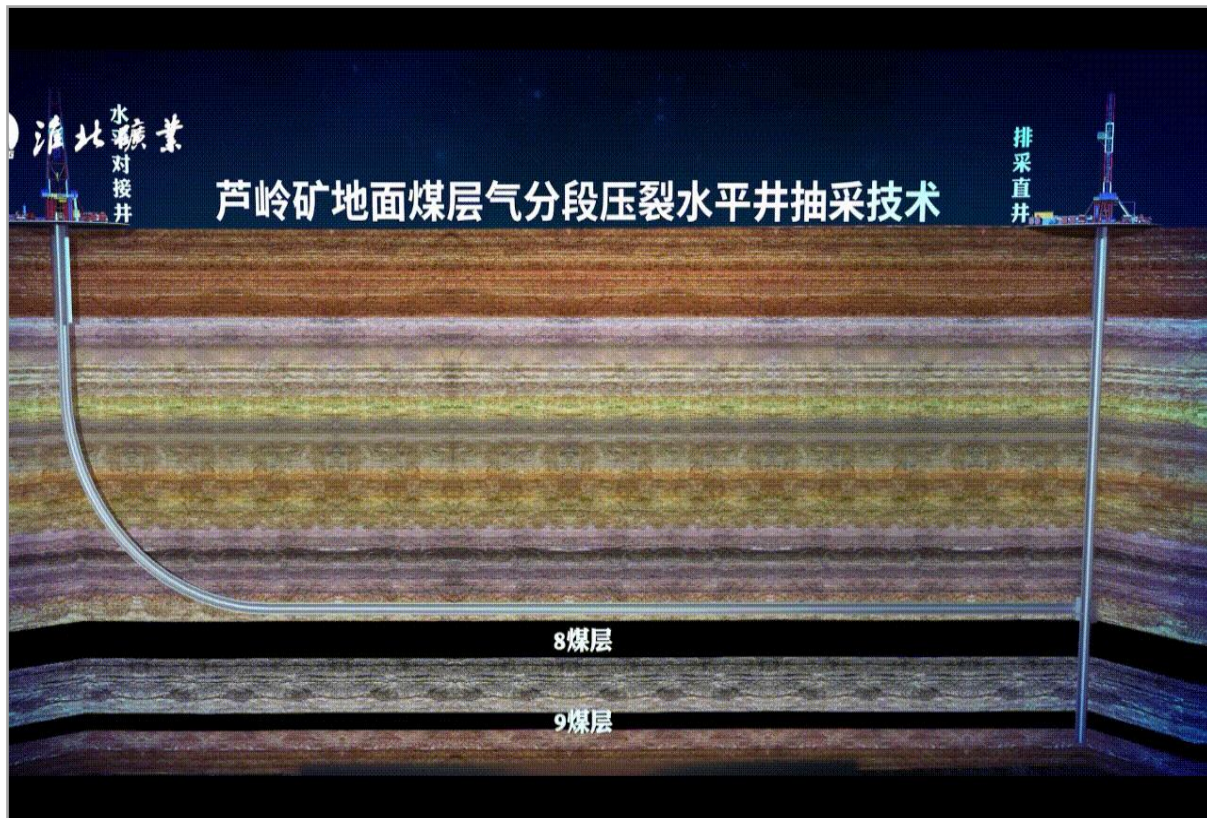
- ① 深部瓦斯灾害如何有效防控？
- ② 西部瓦斯灾害如何科学防控？
- ③ 煤岩瓦斯复合动力灾害如何防控？

1

深部瓦斯灾害如何有效防控？

1.2 煤与瓦斯突出事故呈现出新特征

- **防突体系不断完善和区域治理技术大幅进步**，煤与瓦斯突出得到根本性控制！
中小型突出比例增大，吨煤突出瓦斯量较小。

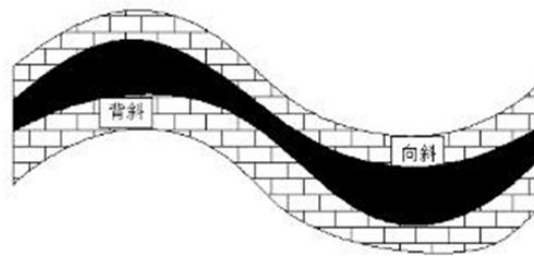


1.2 煤与瓦斯突出事故呈现出新特征

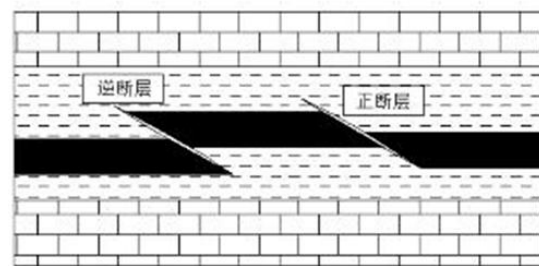
■ 深部煤矿地质异常区突出精准防控是保障煤炭安全开采必须解决的现实问题

□ 近年突出事故均发生于局部地质异常区(煤厚变化带和断层、褶曲等构造区)或揭煤处(软硬介质变化)

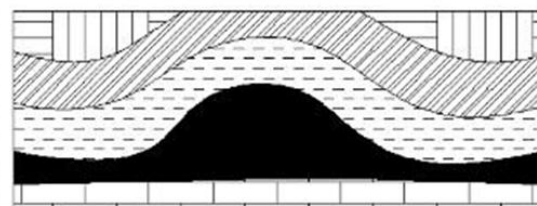
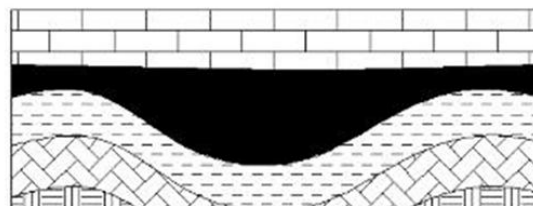
时间	突出发生地点	突出煤量(t)	突出瓦斯量(m³/t)	地质条件特征
2022.3.15	云南平庆煤矿117805掘进面	不详	不详	煤层变厚带厚度3.5~5.3m
2022.3.2	贵州利民煤矿回风斜井延伸巷掘进面	792	76632	逆断层落差约2m
2021.4.9	贵州东风煤矿10901工作面切眼掘进面	1028	54000	地质构造煤层变厚
2021.3.25	山西石港煤业15210进风巷掘进面	不详	不详	小构造构造煤变厚
2020.11.4	陕西乔子梁煤矿59采区综掘面	820	33380	煤层变厚带厚度0~6.5m
2020.06.01	陕西燎原煤业1105工作面运顺掘进面	不详	不详	构造区厚度0~6.75m



(a) 褶曲



(b) 断层



"通风可靠、抽采达标、防突精准、监控有效、管理到位"

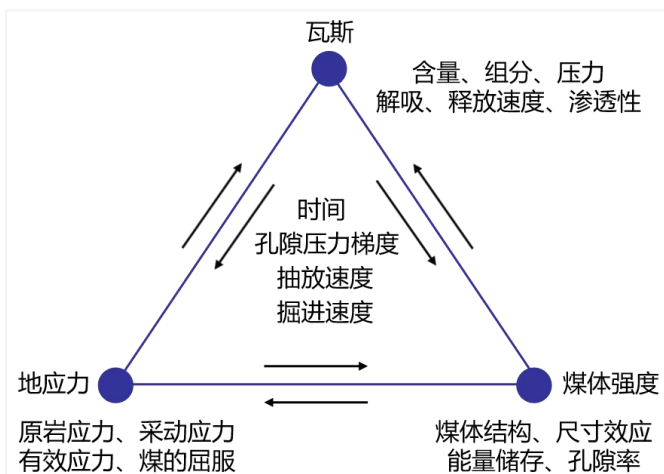
瓦斯治理"二十字"工作体系!

1.2 煤与瓦斯突出事故呈现出新特征

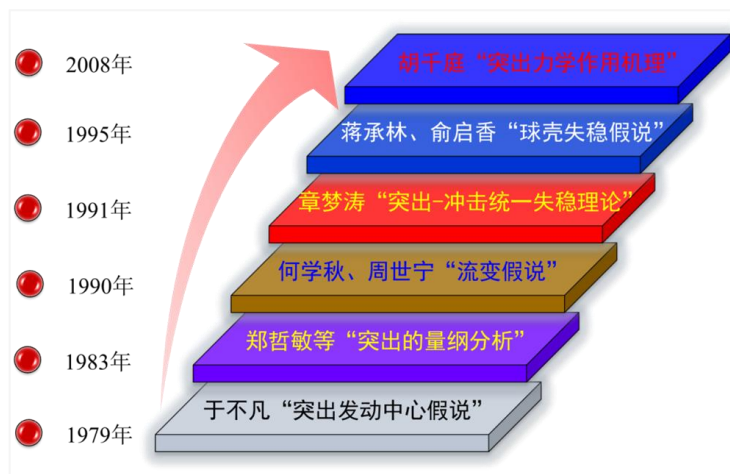
■ 深部煤矿地质异常区突出危险精准防控面临的三大难题：

难题一

煤矿地质异常区环境复杂、突出事故频发，以往突出致灾理论侧重探究突出主控因素，缺乏与现场工程条件的结合；偏重于灾变过程和灾后结果分析，难以清晰解释、更难定量分析突出孕育启动过程和临界条件，无法科学指导地质异常区突出预测、预警与防治工作



经典的CSIRO 突出模型



国内代表性突出机理假说



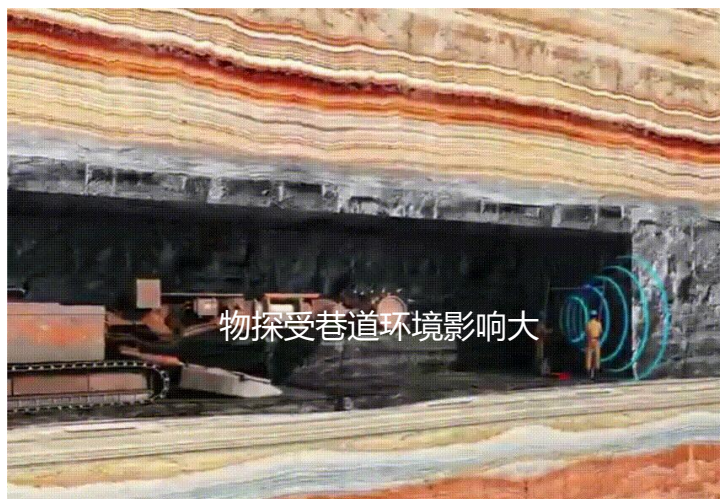
传统破碎煤取样-制样-力学参数测试

1.2 煤与瓦斯突出事故呈现出新特征

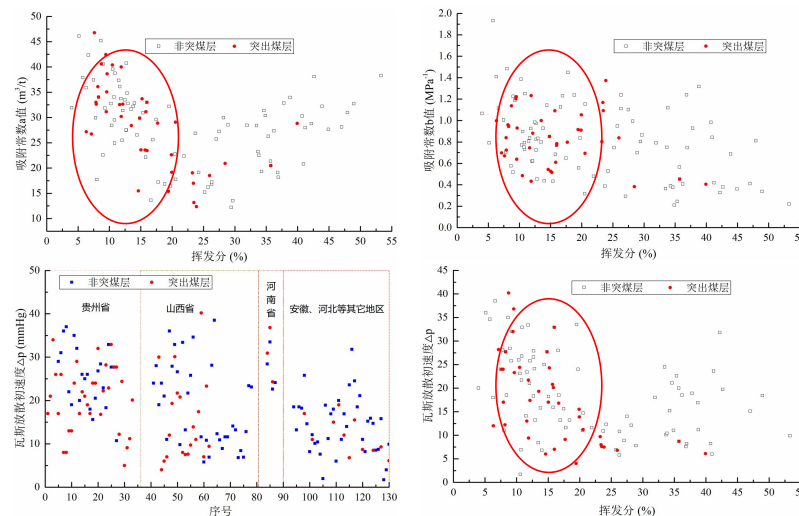
■ 深部煤矿地质异常区突出危险精准防控面临的三大难题：

难题二

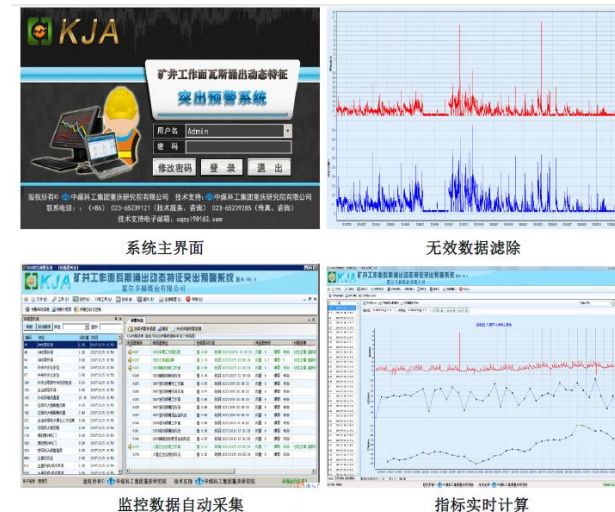
小微地质构造、煤厚变化等异常地质体无有效探测手段；以瓦斯参数为主的“点”预测和以瓦斯涌出为主的监测预警方法，无法超前连续反映地应力和煤体结构异常变化；地质异常区突出预测指标阈值低、“低指标突出”现象常见，致灾因素感知不全、预警结果准确性不高



常规物探技术探测精度有限



突出和非突出煤层瓦斯参数无明显差别



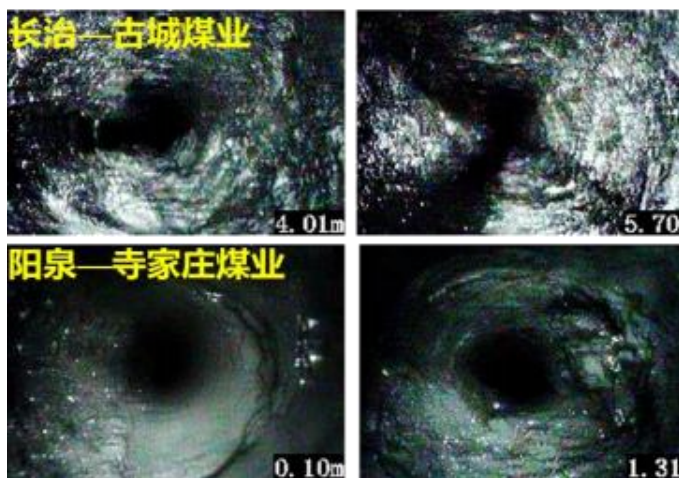
瓦斯涌出监测预警

1.2 煤与瓦斯突出事故呈现出新特征

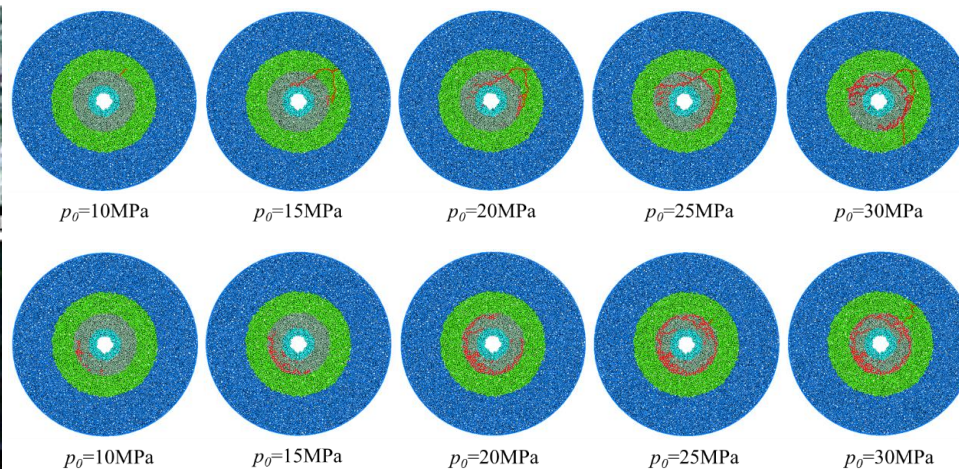
■ 深部煤矿地质异常区突出危险精准防控面临的三大难题：

难题三

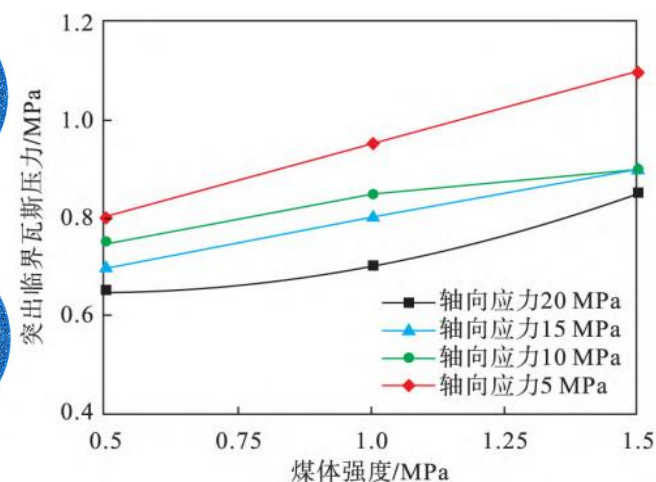
保护层开采、割缝/造穴/冲孔等技术的卸压增透防突效果显著，但煤矿地质异常区松软破碎煤体钻孔易塌孔且变形严重，难以长时保浓高质量抽采；且松软破碎煤体强度极低，卸压增透措施作用后整体结构稳定性差，单纯“卸压增透抽采消突”难以保障地质结构异常区采掘作业安全



松软煤层钻孔变形严重导致封孔质量差



传统水泥密封段随时间演化裂隙发育导致漏气

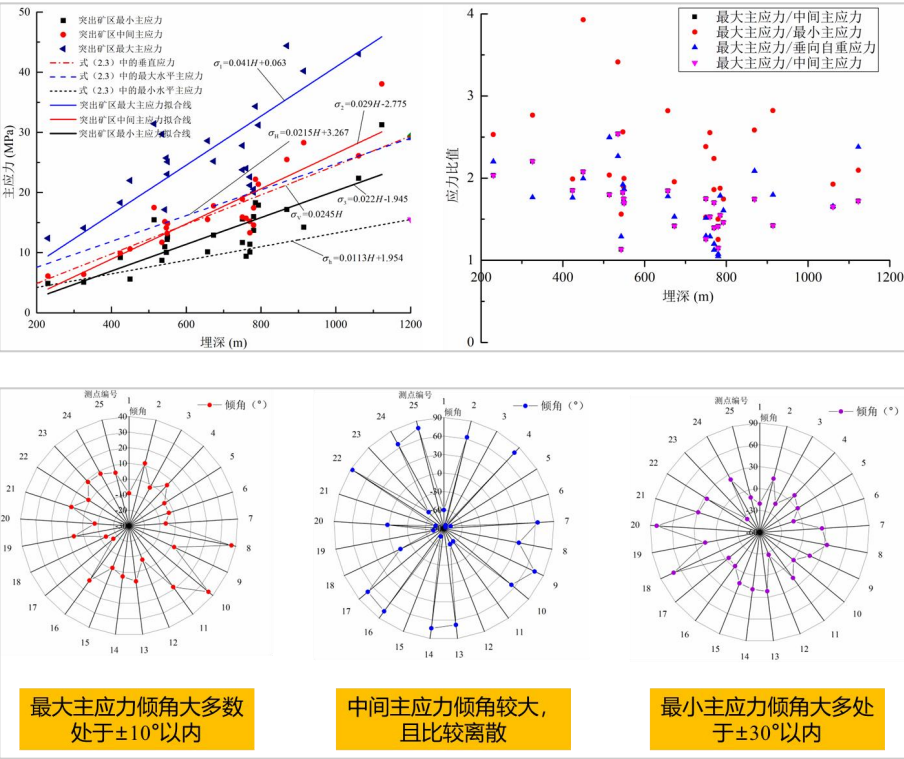


煤体强度对突出临界压力影响

1.3 煤与瓦斯突出关键结构体致灾机理

系统研究了地质异常区原岩应力场及突出煤体宏细观结构特征，认识到**构造运动**营造了异常应力环境、形成了构造煤体，产生了利于瓦斯存储和突出启动的特殊地质结构

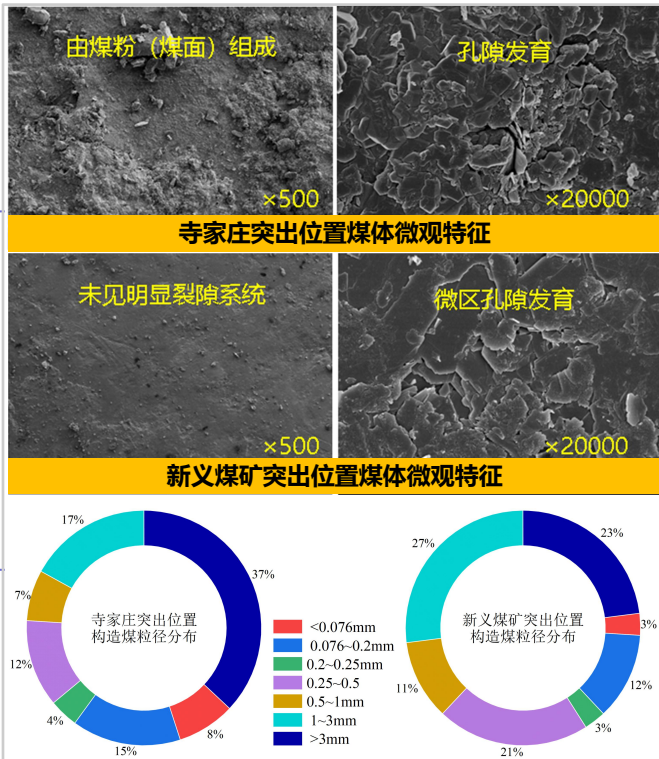
代表成果：煤炭学报. 2019,44(04) 入选 “中国百篇最具影响国内学术论文” 和 “F5000论文”



突出矿区原岩应力场分布特征



地质构造对突出致灾因素控制作用

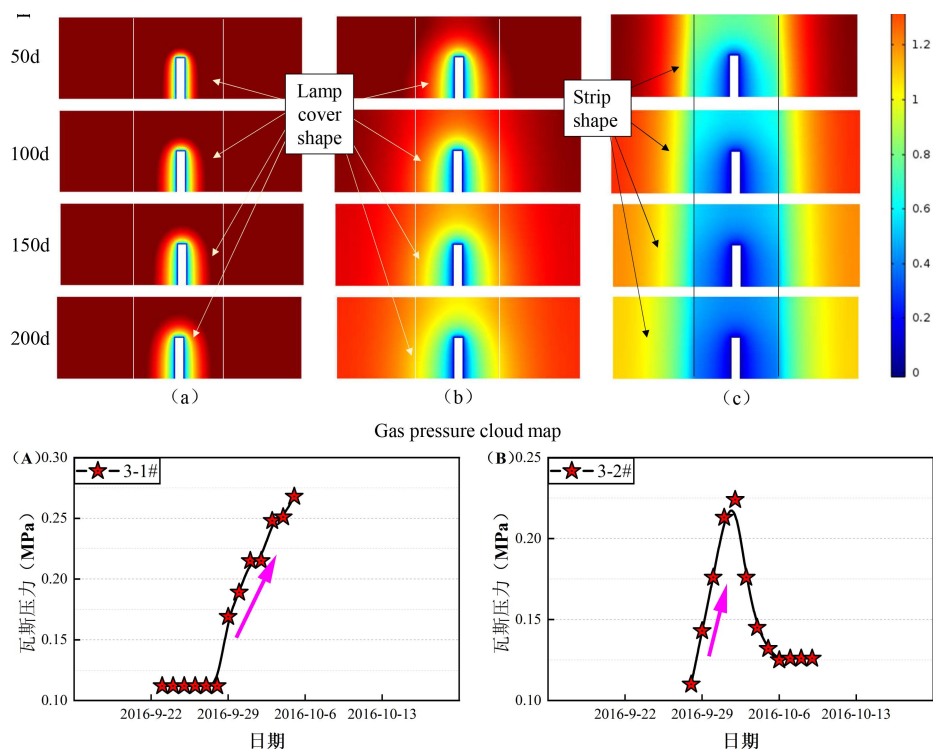


突出煤体微观裂隙和粒径分布特征

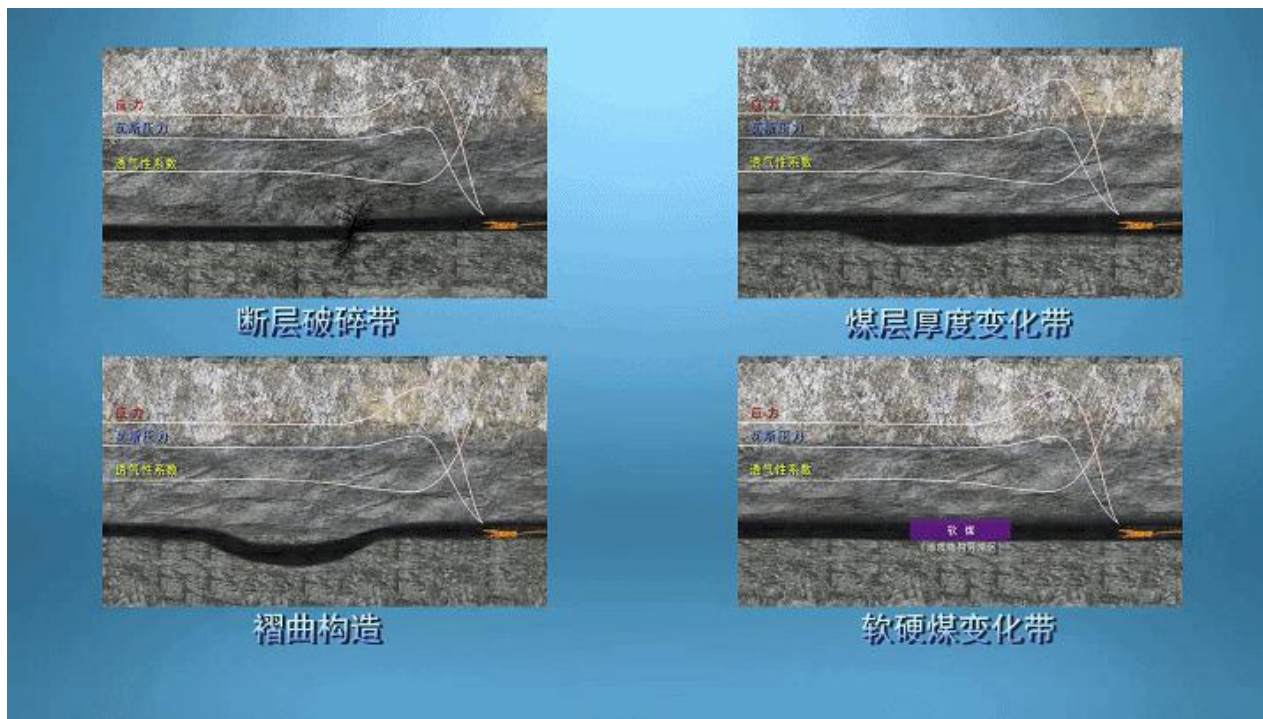
1.3 煤与瓦斯突出关键结构体致灾机理

发明了动静组合加载孔隙压力响应和煤体损伤破坏测定试验装置，发现了动静载叠加下瓦斯压力**双阶分布特征**和**局部增压现象**，揭示了采掘工作面**过典型地质异常区的统一孕灾规律**

Response characteristics of gas pressure under simultaneous static and dynamic load:
Implication for coal and gas outburst mechanism, IJMST, 2023. 33: 155-171. 入选**高被引论文**



动静载叠加下瓦斯压力双阶分布特征和局部增压现象

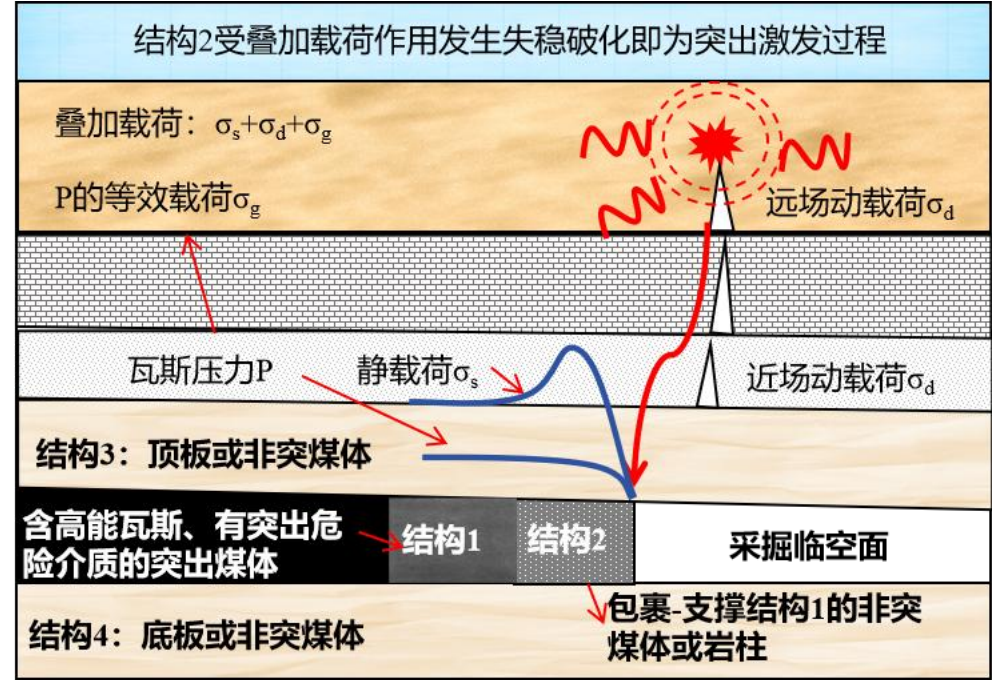


采掘工作面过典型地质异常区统一孕灾规律

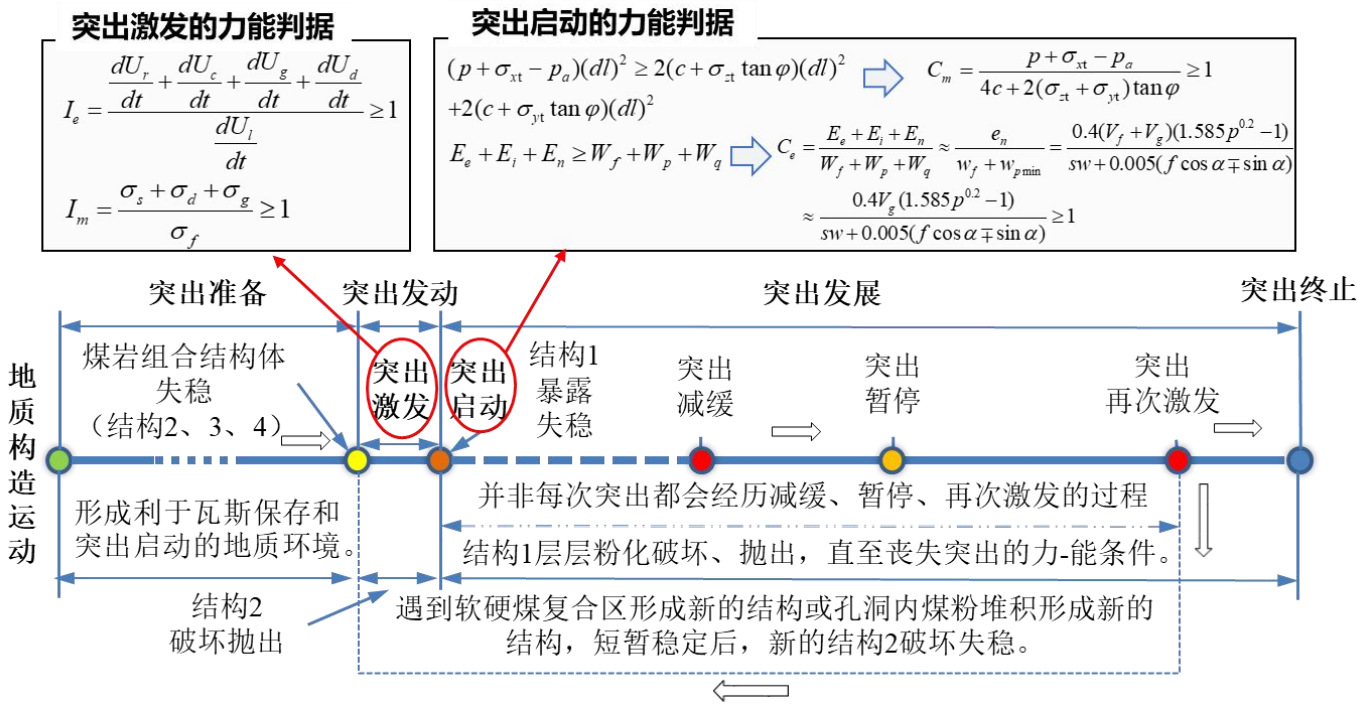
1.3 煤与瓦斯突出关键结构体致灾机理

提出了描述突出发生位置工程环境特征的**关键结构体模型**，对突出发生发展过程进行了科学阶段划分，建立了突出激发与启动的**力学和能量判据**，揭示了煤与瓦斯突出关键结构体致灾机理

岩石力学与工程学报, 2017, 36(02): 347-356. Fuel, 2022, 323: 124305.
入选“F5000”和“三高”学术论文，获得**陈宗基优秀论文奖**。



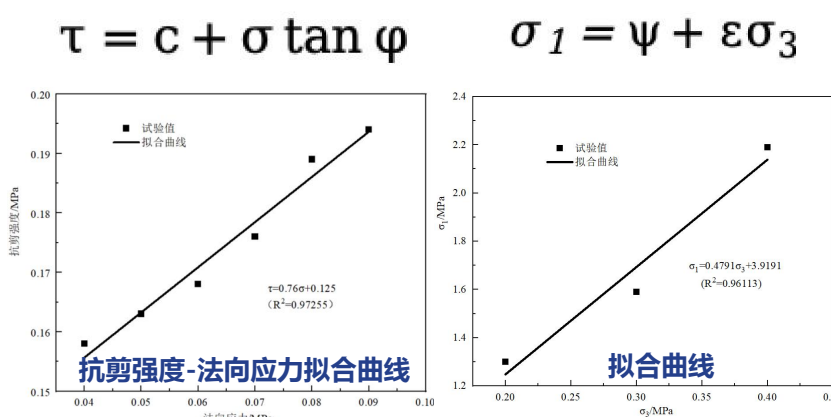
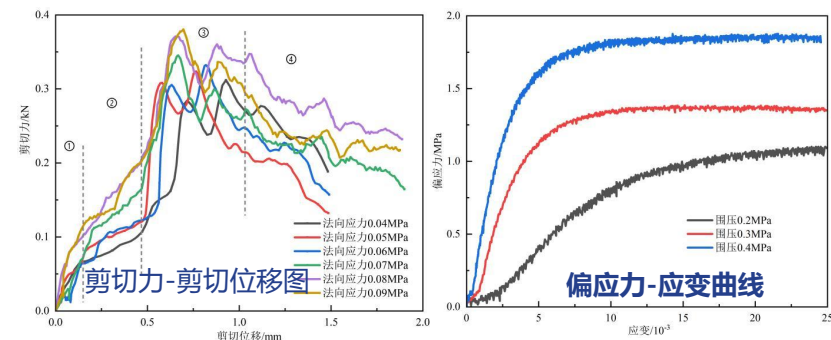
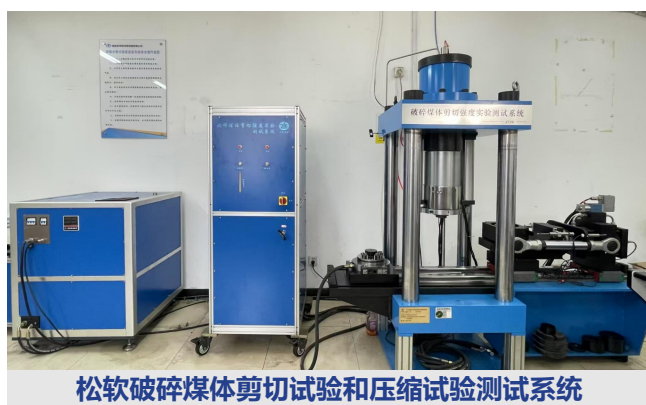
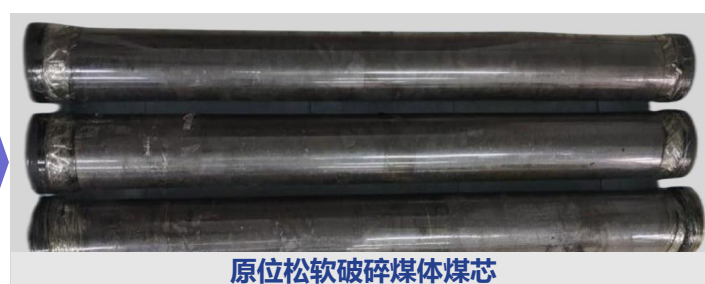
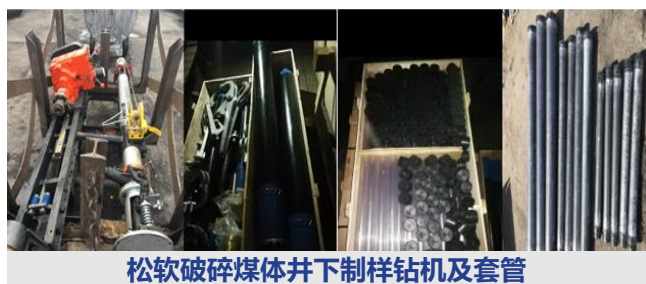
煤与瓦斯突出关键结构体模型



基于突出关键结构体的突出逐级孕育机制及激发启动力能判据

1.3 煤与瓦斯突出关键结构体致灾机理

研发了松软破碎煤体原位取制样与剪切试验系统，**突破了松软破碎煤体力学参数准确测定难题**，为突出启动动力能判据量化计算提供了技术支撑



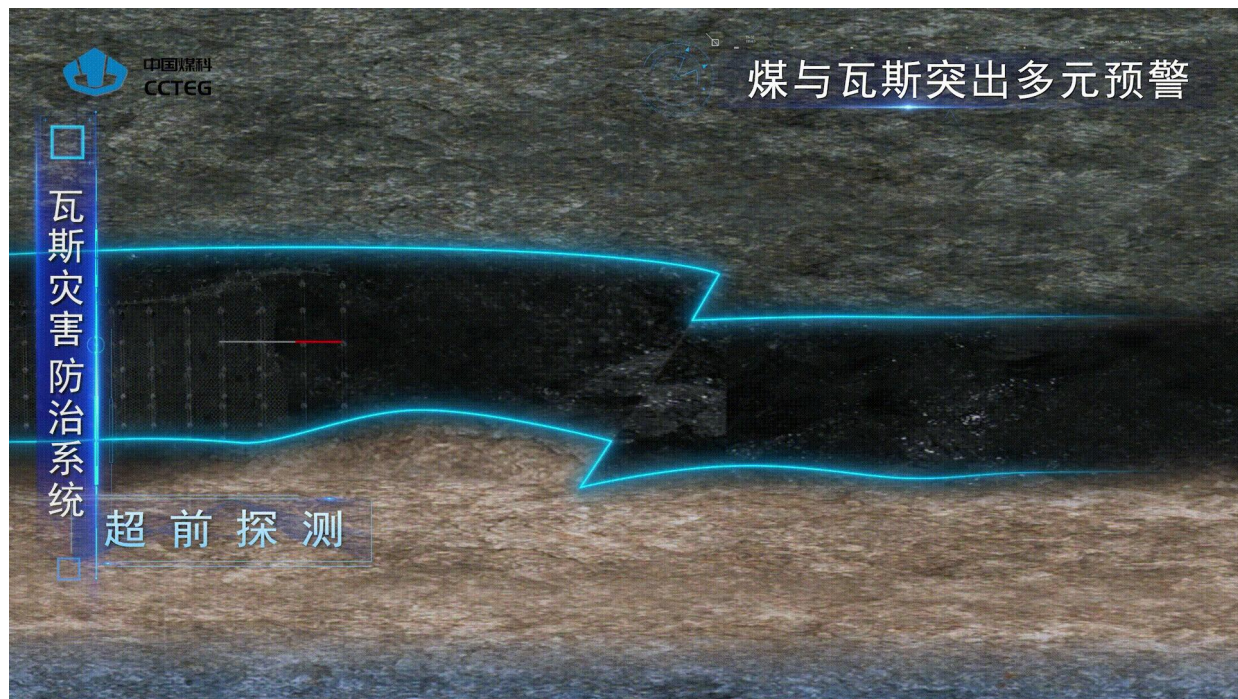
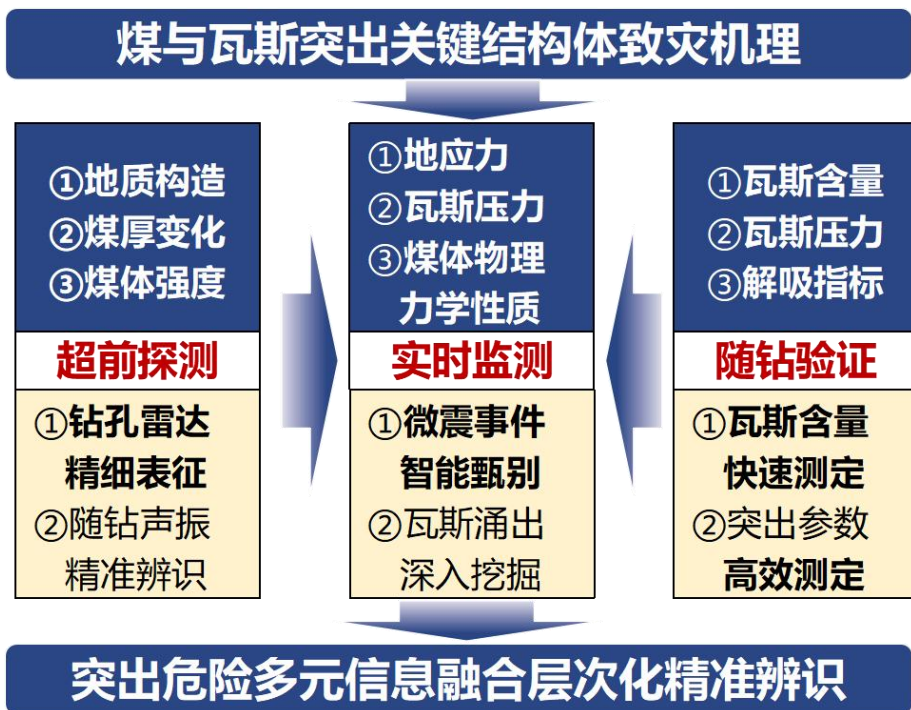
原位松软破碎煤体取样-制样-力学参数测试流程及装备

松软破碎煤体力学参数测试结果

1.4 煤与瓦斯突出危险层次化精准辨识

■ 提出了深部突出危险“超前探测-实时监测-随钻验证”层次化精准辨识方法

- **超前探测**：采用物探和钻探相结合，超前精细探测采掘工作面周围存在的地质结构异常区
- **实时监测**：采用微震和瓦斯涌出监测相结合，分析煤体结构、地应力和瓦斯大小变化规律
- **随钻测定**：采用随钻测定相关特征参数方法，进一步验证超前探测和实时监测的预测结果

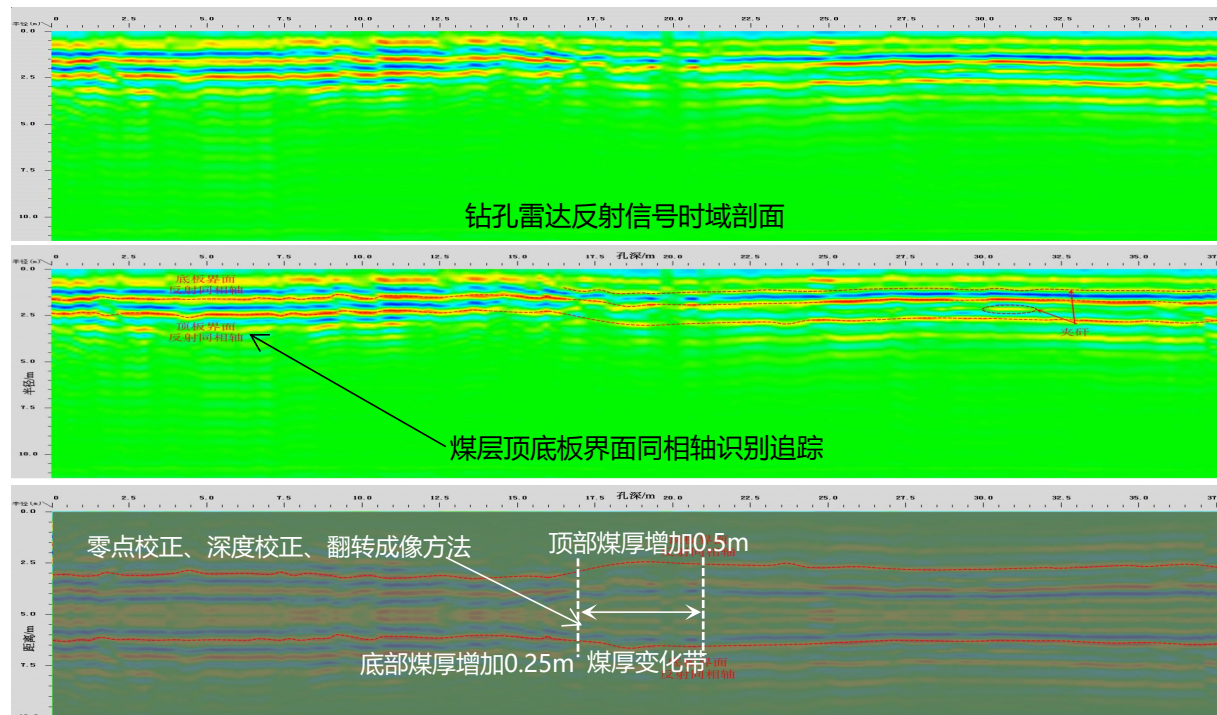


1.4 煤与瓦斯突出危险层次化精准辨识

突破异常地质结构**钻孔雷达超前探测与精细表征技术**，实现全孔段孔周20~30m的煤岩介质、煤层厚度变化等**异常体超前探测**，满足深部防突需求



地质异常体超前钻孔雷达探测技术

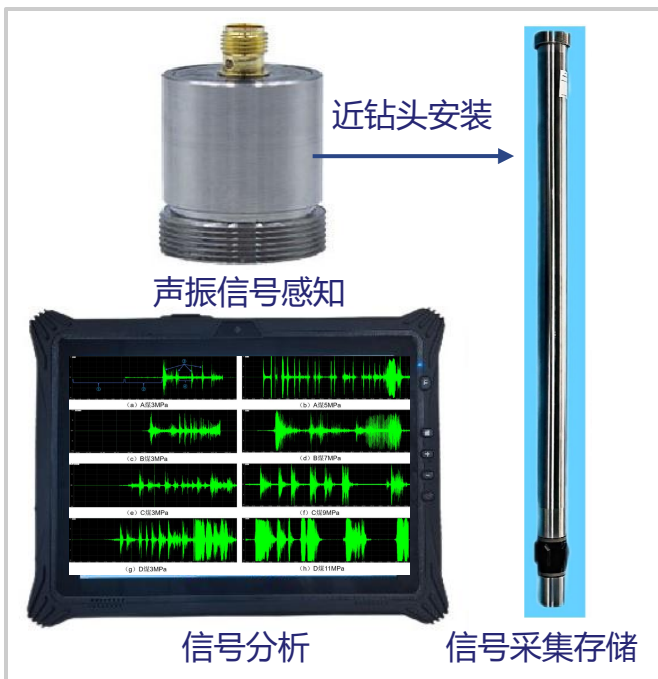


钻孔雷达解译煤层厚度变化过程

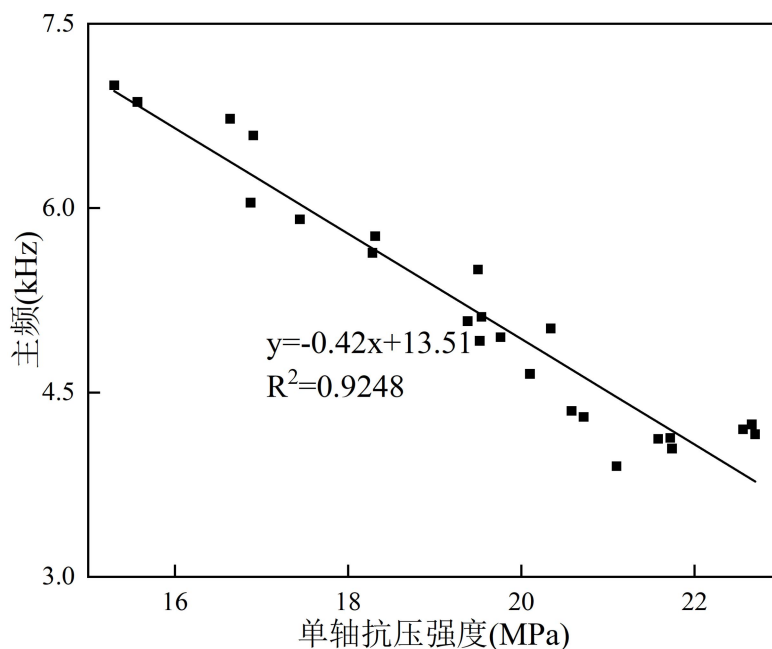
1.4 煤与瓦斯突出危险层次化精准辨识

开发了钻头切削煤岩破裂**声振信号采集与煤岩强度随钻辨识评价系统**，解决了以往利用钻机振动辨识煤岩变化**振源复杂、信噪比高**等难题，煤岩强度变化随钻辨识**准确率大于90%**

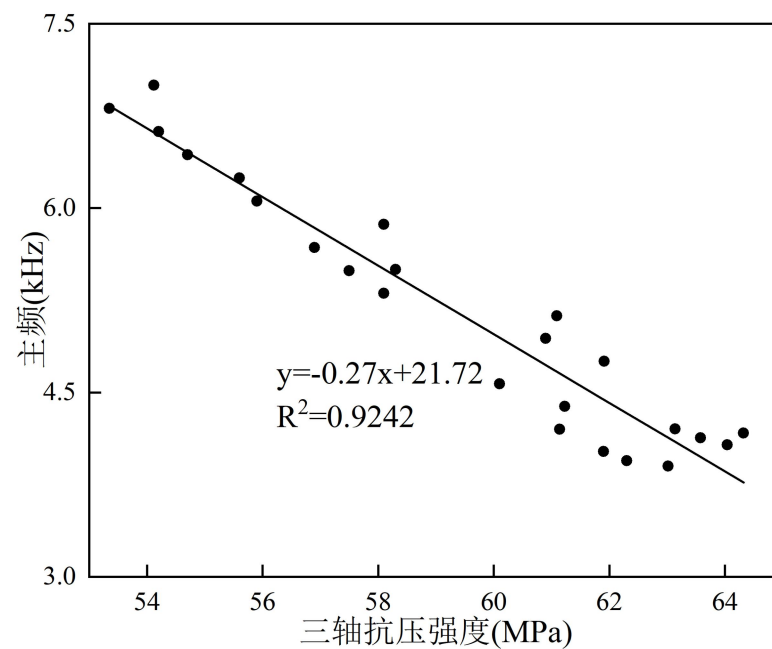
发明专利：一种煤巷掘进工作面煤岩破裂微震信号辨识方法及装置[P].ZL202410718743.6



煤岩强度随钻声振辨识系统



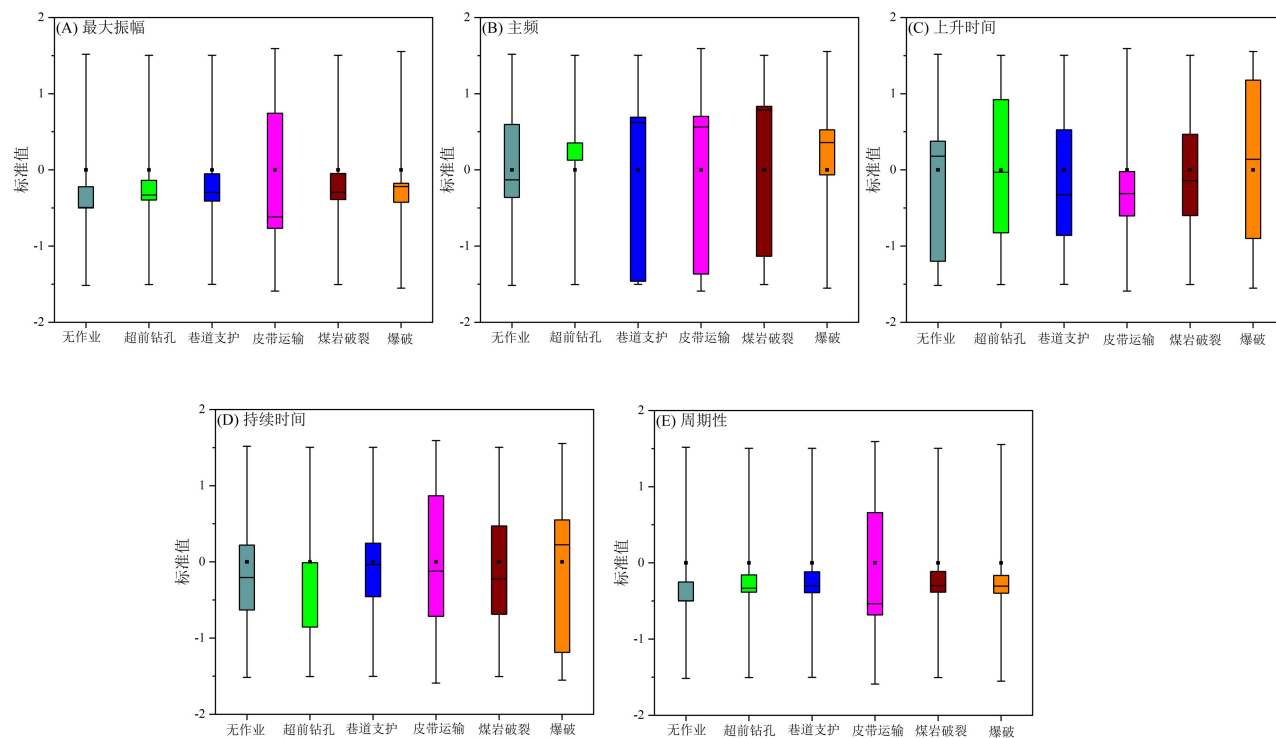
单轴抗压强度与主频关系



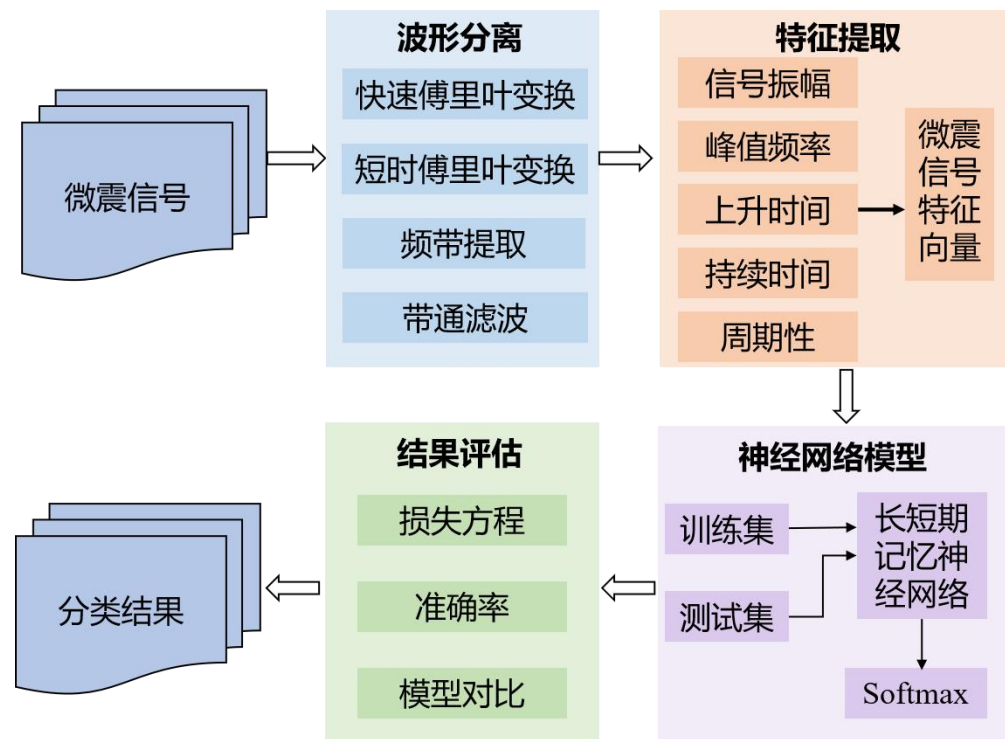
三轴抗压强度与主频关系

1.4 煤与瓦斯突出危险层次化精准辨识

建立了**煤岩破裂微震信号智能甄别分类方法**，解决了采掘工作面近场区域噪声信号复杂多源、煤岩破裂信号难以甄别的技术难题



不同作业工序微震信号特征分布



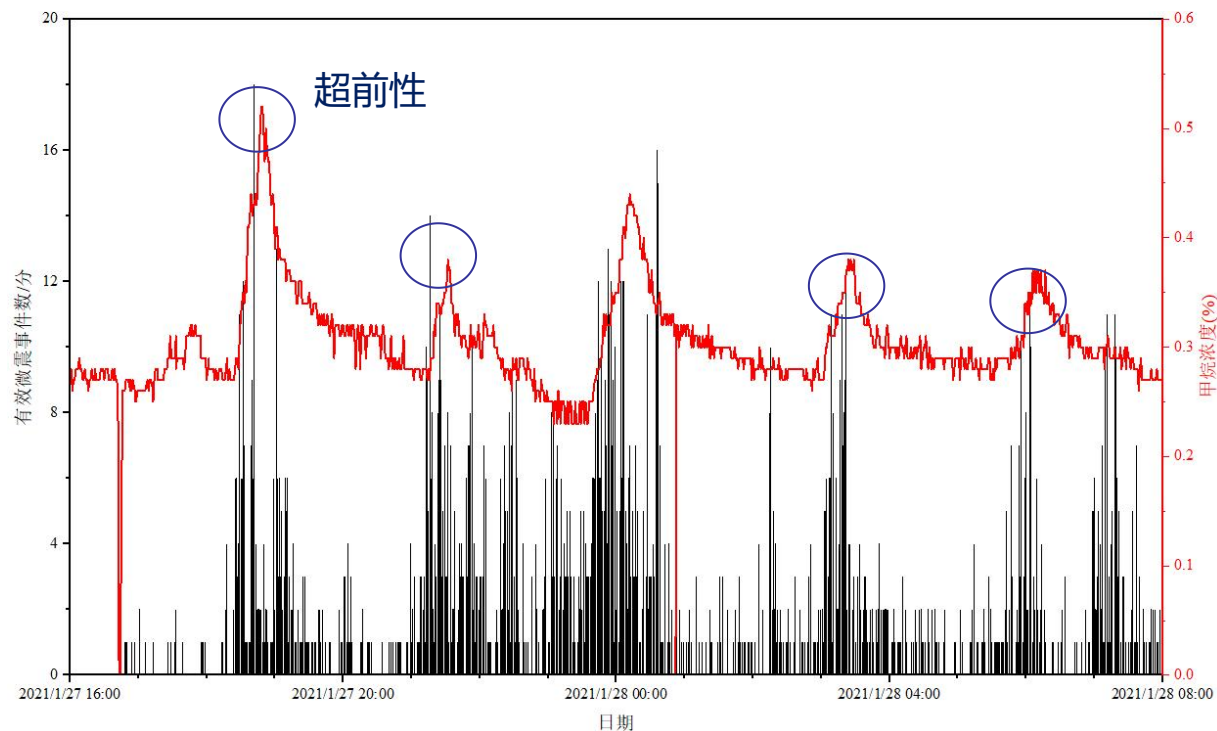
煤岩破裂微震信号智能甄别分类方法

1.4 煤与瓦斯突出危险层次化精准辨识

开发了煤岩破裂微震信号与瓦斯涌出**一体化实时监测系统**，掌握了煤岩破裂微震事件与瓦斯涌出的响应规律，发现了其对瓦斯涌出异常的**超前响应特征**



微震瓦斯一体化实时监测系统

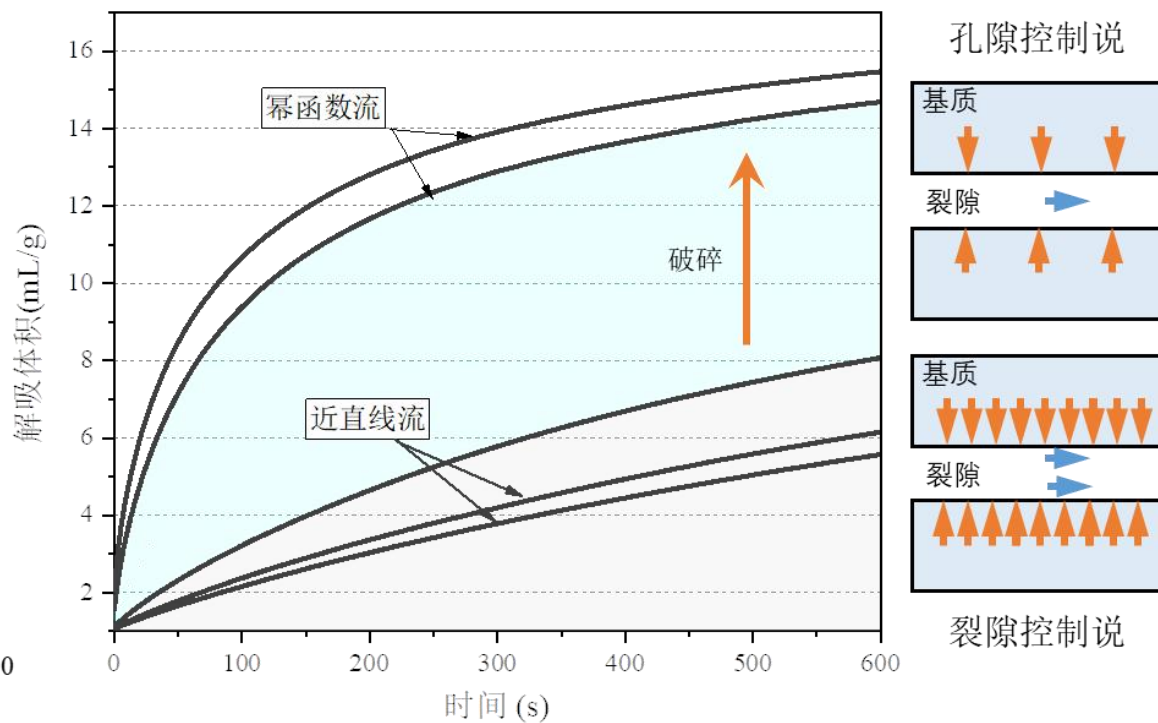
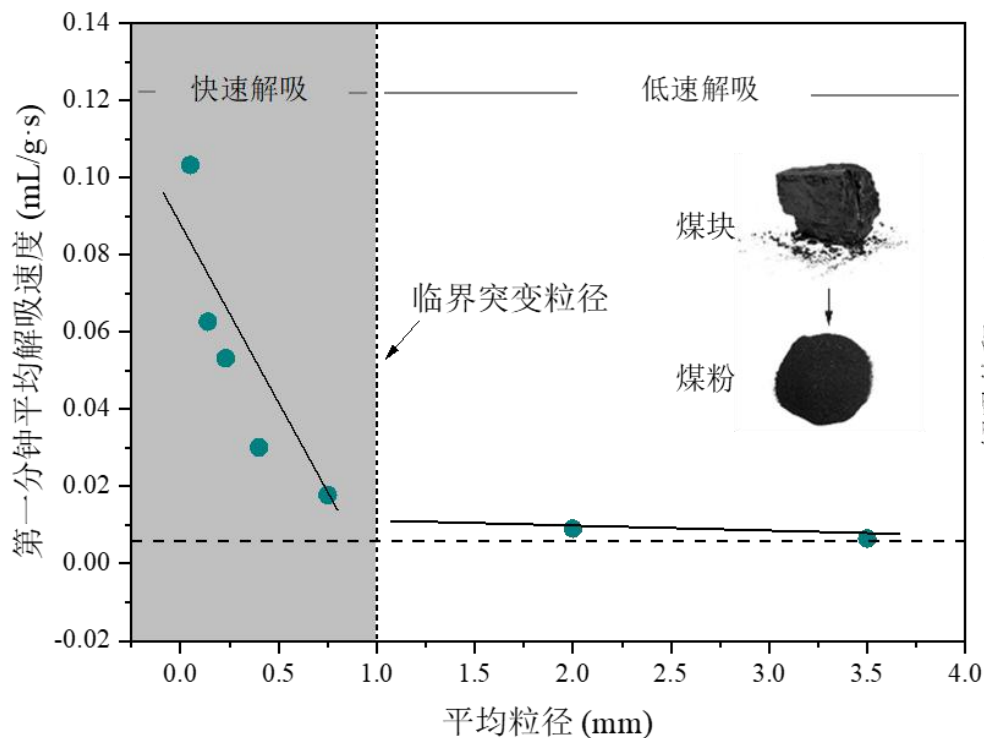


煤岩破裂微震事件数与瓦斯涌出响应关系

1.4 煤与瓦斯突出危险层次化精准辨识

建立了粉化煤体损伤路径与扩散速度、吸附能力、解吸初速度等参数的数学关系，得到了由空间流动主导的“限制性”传质方式向类表面吸附扩散主导的“自由性”传质方式转变的曲线形态变化特征

“Gas diffusion in coal particles: A review of mathematical models and their applications” 发表在国际TOP期刊Fuel上，该论文高被引论文。

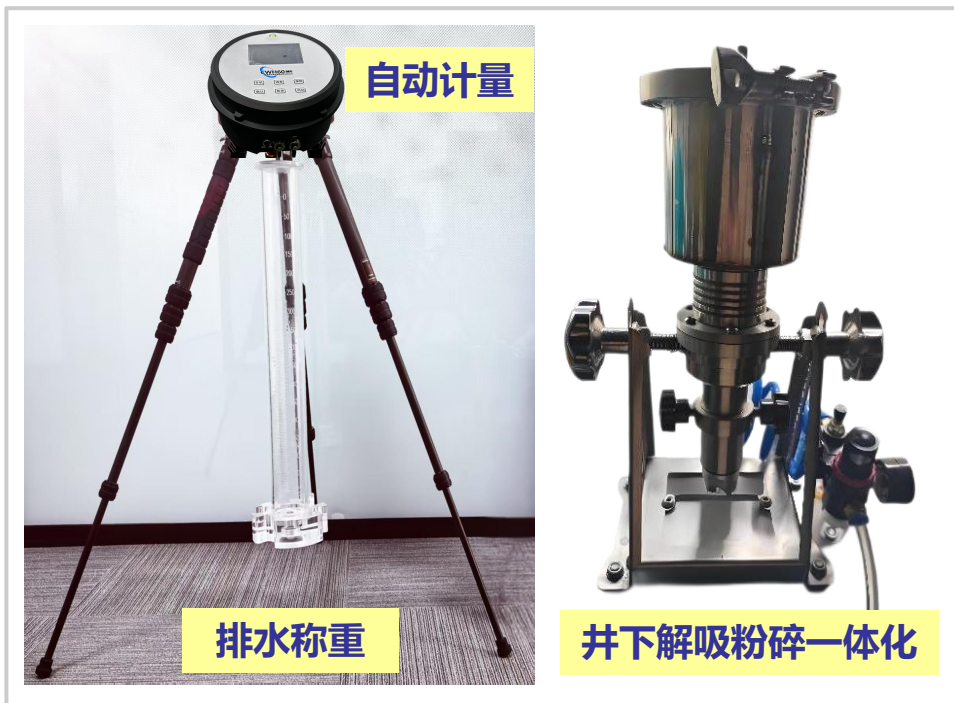


煤块和煤粉不同解吸曲线形态特征

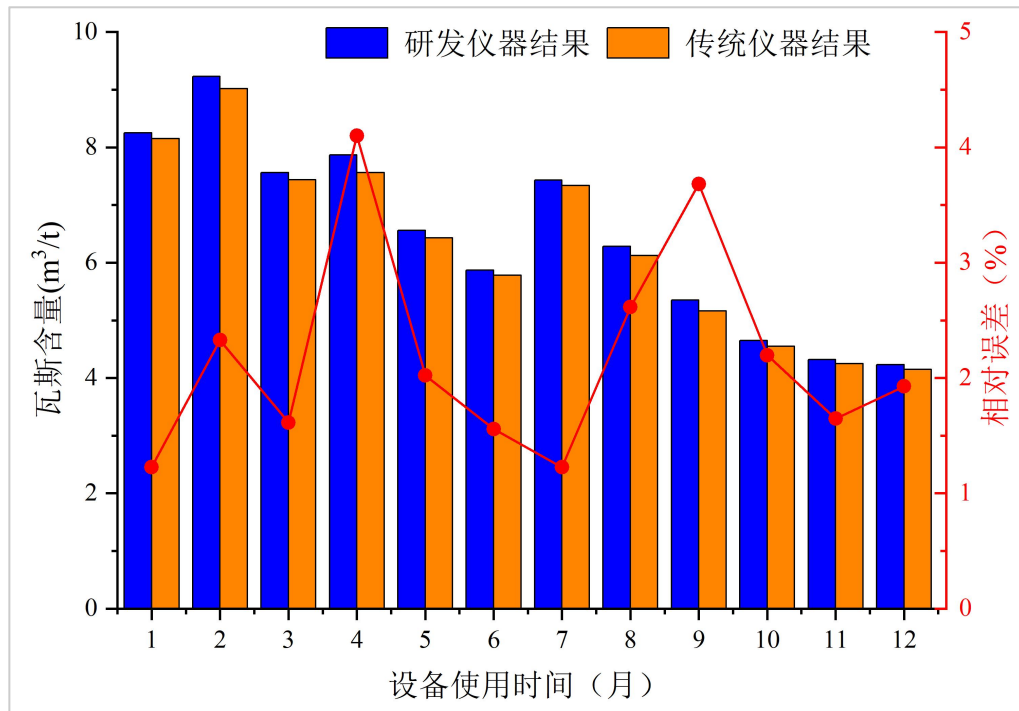
1.4 煤与瓦斯突出危险层次化精准辨识

发明了**井下称重式煤层瓦斯含量高精度快速测定仪**，井下就地测试时间 $\leq 30\text{min}$ ，长期测试误差 $\leq 5\%$ ，避免了煤矿井下高尘环境、测定过程中解吸速率变化大条件下的微流量准确测定难题

发明专利：煤矿井下煤层瓦斯含量与压力快速测定仪及测定方法[P].ZL20180139224.9



煤层瓦斯含量高精度井下快速测定仪



煤层瓦斯含量长期测试精度变化

1.4 煤与瓦斯突出危险层次化精准辨识

发明了YTC10-W瓦斯突出参数测定仪，实现了多样品 K_1 和 Δh_2 “一孔多点”

连续并行测定及测定数据无线传输信息化管理，单孔测试时间缩短50%

发明专利：煤层瓦斯突出参数测定方法、装置、电子设备及存储介质[P].ZL202110613454.6
便携式工作面煤与瓦斯突出参数测定仪获得中国煤炭工业专利奖。



YTC10-W矿用本安证和防爆证



煤层瓦斯突出参数测定仪



授权发明专利证书

1.4 煤与瓦斯突出危险层次化精准辨识

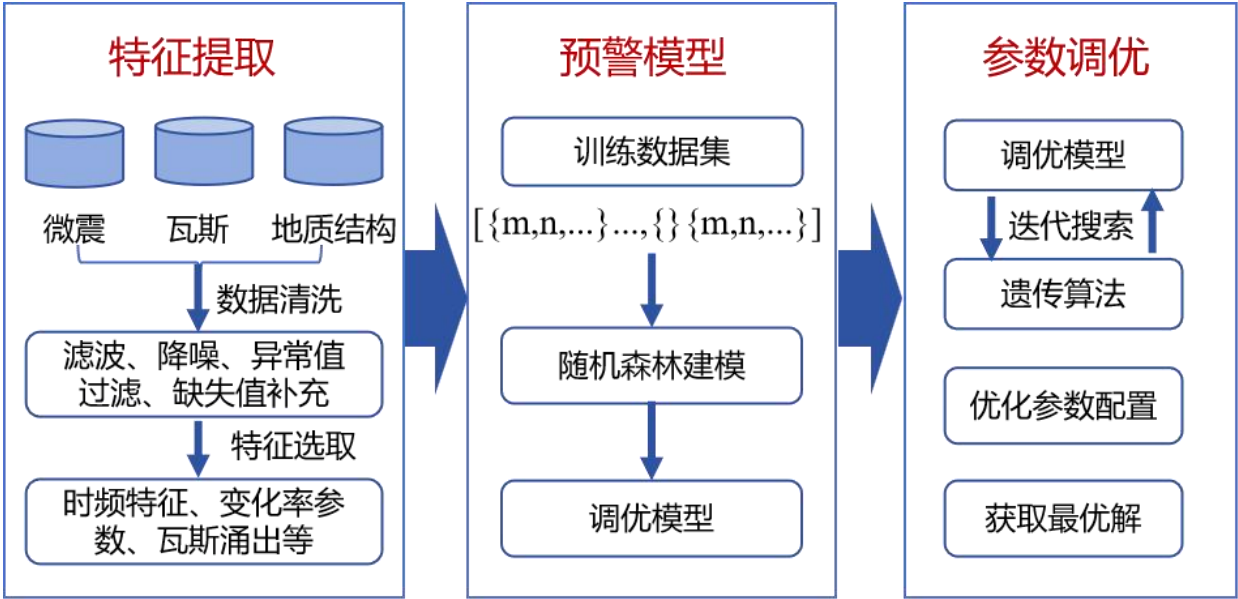


建立了融合地质结构、微震特征和瓦斯特征的数据与机理双驱动预警模型，
提出了基于随机森林（RF）和遗传算法（GA）的预警模型关键参数自学习方法，现场工程应用可实现1次/月参数自动调优

Characteristics and classification of microseismic signals in heading face of coal mine: Implication for coal and gas outburst warning, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2022, 55(11):6905-6919.

滑动平均值	$A(m)_t = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m a_{t-i+1}$	波形持续时间均值	$T_a(t) = \frac{1}{b_t} \sum_{i=(t-1)}^t T_i$
离散率	$V(n)_t = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^m (a_{t-i+1} - A(n)_t)^2$	振幅均值	$A_a(t) = \frac{1}{b_t} \sum_{i=(t-1)}^t A_i$
变化率	$Y(L)_t = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (a_{t-i+1} - a_{t-i-L+1})$	峰值频率均值	$f_a(t) = \frac{1}{b_t} \sum_{i=(t-1)}^t f_i$
异常持续时间	$N(k)_t = \sum_{i=1}^k (A(m)_{t-i+1} \geq e_1)$	微震时频变化特征指数	$I_{m2} = w_T \times T_a(t)' + w_A \times A_a(t)' + w_f \times f_a(t)'$
微震事件变化特征指数	$I_{m1} = w_1 \alpha + w_2 \beta + w_3 \gamma + w_4 \delta$	微震变化特征指数	$I_m = w_{m1} \cdot I_{m1} + w_{m2} \cdot I_{m2}$
滑动平均值	$A(m)'_t = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m c_{t-i+1}$	离散率	$V(n)'_t = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^m (c_{t-i+1} - A(n)'_t)^2$
变化率	$Y(L)'_t = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (c_{t-i+1} - c_{t-i-L+1})$	异常持续时间	$N(k)'_t = \sum_{i=1}^k (A(m)'_{t-i+1} \geq e'_1)$
瓦斯涌出量变化特征指数	$I_g = w'_1 \alpha' + w'_2 \beta' + w'_3 \gamma' + w'_4 \delta'$		

突出多元信息融合预警特征库



突出预警模型及关键参数自调优

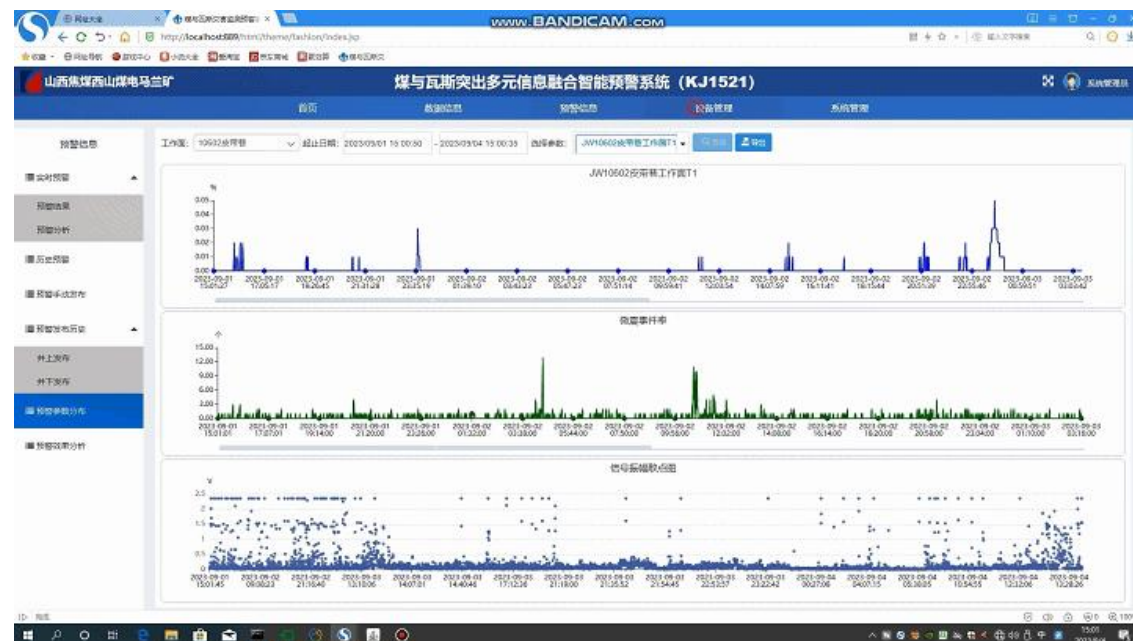
1.4 煤与瓦斯突出危险层次化精准辨识

开发了KJ1521煤与瓦斯突出多元信息融合智能预警系统，实现了采掘工作面地质结构异常、煤体结构、瓦斯和地应力大小变化综合表征，即突出主要致灾因素的全面感知，做到了采掘过断层、褶曲轴部等预警响应

发明专利：用于煤与瓦斯突出的多源信息融合智能预警方法及装置[P]. ZL202210591017.3



KJ1521煤与瓦斯突出多元信息融合智能预警系统



突出多元信息融合智能预警系统现场应用

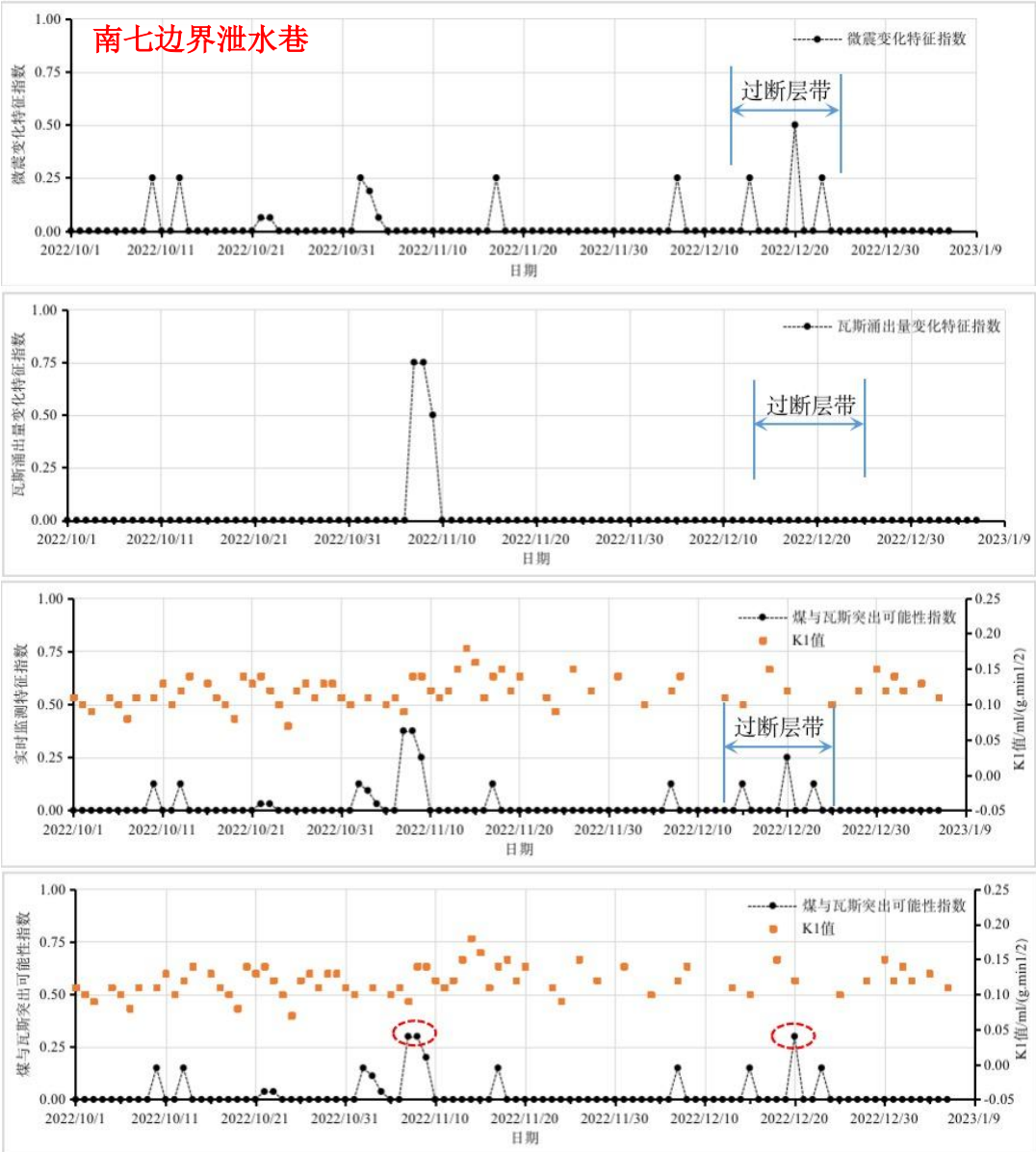
1.4 煤与瓦斯突出危险层次化精准辨识



多元信息融合智能精准预警现场结果

证明了微震信号和瓦斯涌出监测预警模型的可行性，实时监测数据中微震信号异常变化和瓦斯涌出异常波动并非完全同步，两者反映的危险因素不同，试验段微震信号能够对地质构造和巷道贯通做出预警响应，而瓦斯涌出并无异常变化。

日期	微震变化特征指数	瓦斯涌出量变化特征指数	煤与瓦斯突出可能性指数	预警等级	备注
2022/10/1	0.00	0.00	0.00	D	
2022/10/2	0.00	0.00	0.00	D	
2022/10/5	0.00	0.00	0.00	D	
2022/11/7	0.00	0.75	0.38	C	瓦斯异常涌出
2022/11/8	0.00	0.75	0.38	C	
2022/11/9	0.00	0.50	0.25	C	
2022/11/10	0.00	0.00	0.00	D	
2022/12/15	0.25	0.00	0.13	D	
2022/12/20	0.50	0.00	0.25	C	遇断层
2022/12/21	0.00	0.00	0.00	D	
2022/12/22	0.00	0.00	0.00	D	
2022/12/23	0.25	0.00	0.13	D	
2023/1/6	0.00	0.00	0.00	D	
预警统计	无突出预警率	96 %	突出预警率	4 %	

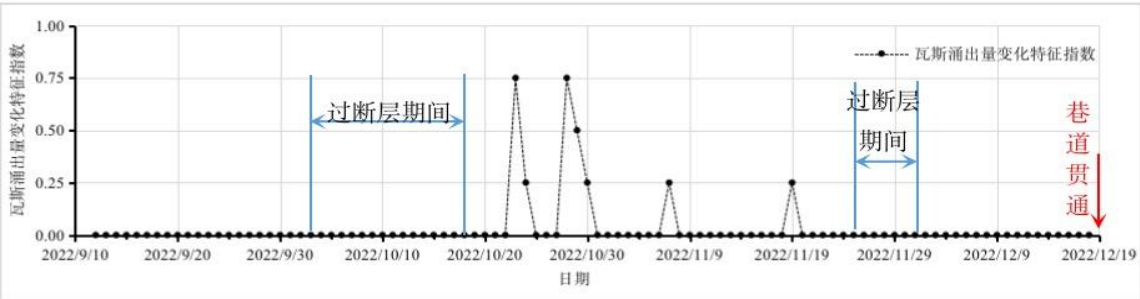
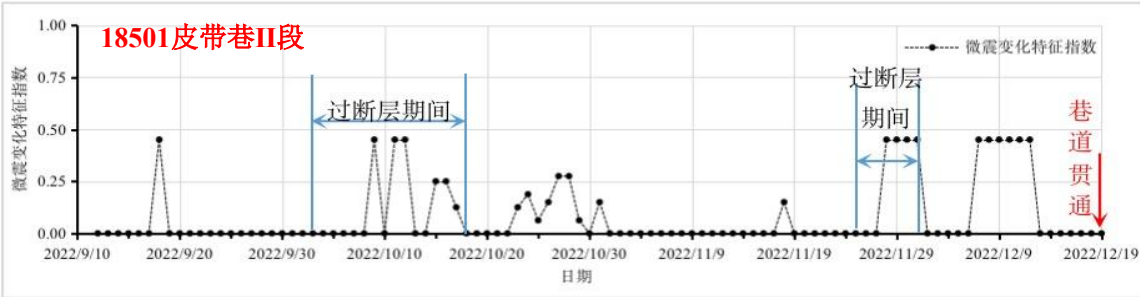


1.4 煤与瓦斯突出危险层次化精准辨识



多元信息融合智能精准预警现场结果

KJ1521监测预警系统应用典型案例



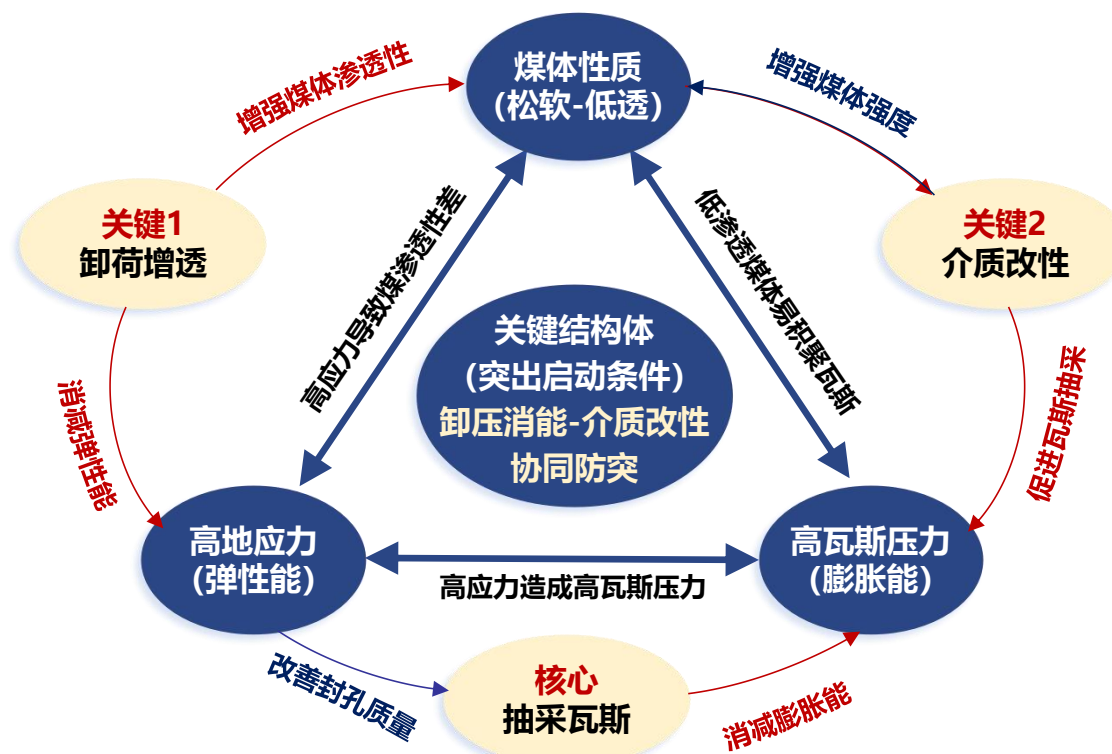
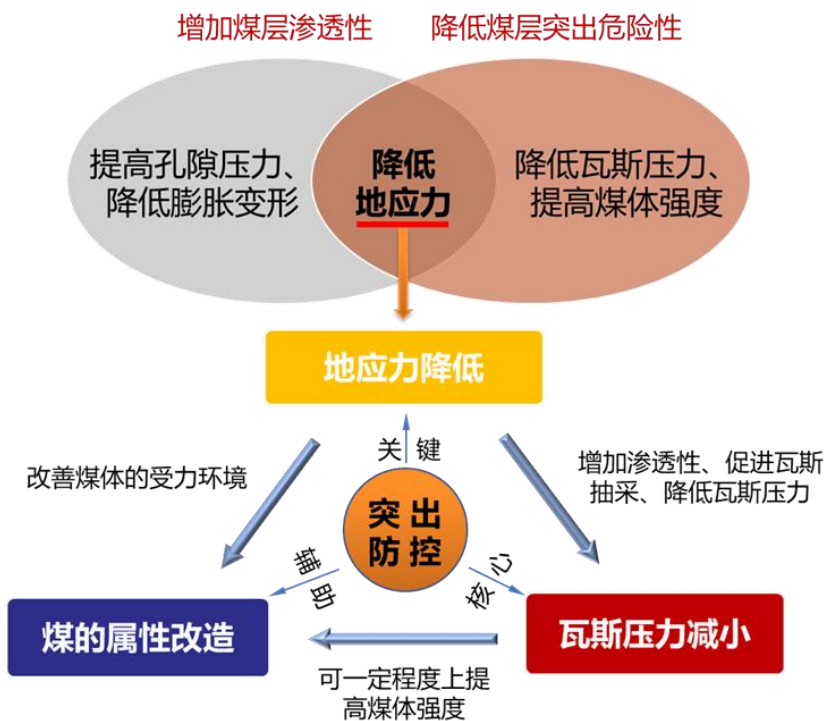
日期	微震变化特征指数	瓦斯涌出量变化特征指数	煤与瓦斯突出可能性指数	预警等级	备注
2022/9/12	0.00	0.00	0.00	D	
2022/9/18	0.45	0.00	0.27	C	
2022/10/9	0.45	0.00	0.27	C	过断层
2022/10/10	0.00	0.00	0.00	D	
2022/10/11	0.45	0.00	0.27	C	
2022/10/12	0.45	0.00	0.27	C	
2022/10/15	0.25	0.00	0.15	D	
2022/10/16	0.25	0.00	0.15	D	
2022/10/17	0.13	0.00	0.08	D	
2022/10/23	0.13	0.75	0.38	C	瓦斯异常
2022/10/24	0.19	0.25	0.21	D	
2022/10/25	0.06	0.00	0.04	D	
2022/10/26	0.15	0.00	0.09	D	
2022/10/27	0.28	0.00	0.17	D	
2022/10/28	0.28	0.75	0.47	C	瓦斯异常
2022/10/29	0.06	0.50	0.24	D	
2022/10/30	0.00	0.25	0.10	D	
2022/10/31	0.15	0.00	0.09	D	
2022/11/7	0.00	0.25	0.10	D	
2022/11/18	0.15	0.00	0.09	D	
2022/11/19	0.00	0.25	0.10	D	
2022/11/28	0.45	0.00	0.27	C	过断层
2022/11/29	0.45	0.00	0.27	C	
2022/11/30	0.45	0.00	0.27	C	
2022/12/1	0.45	0.00	0.27	C	
2022/12/7	0.45	0.00	0.27	C	巷道贯通前期
2022/12/8	0.45	0.00	0.27	C	
2022/12/9	0.45	0.00	0.27	C	
2022/12/10	0.45	0.00	0.27	C	
2022/12/11	0.45	0.00	0.27	C	
2022/12/12	0.45	0.00	0.27	C	
2022/12/18	0.00	0.00	0.00	D	
预警统计	无突出预警率	84%	突出预警率	16%	

1.5 煤与瓦斯突出卸荷消能与介质改性协同防控

- **深部突出灾害防控：抽采是核心，卸压是关键，改性稳构是可靠保障**
区域瓦斯抽采达标并不代表已彻底消除煤层突出危险性

$$\frac{k}{k_0} = \left(\frac{\phi_f}{\phi_{f0}} \right)^3 = \left\{ 1 - \frac{C_m'}{\phi_{f0}} (\bar{\sigma} - \bar{\sigma}_0) + \frac{C_m}{\phi_{f0}} [\gamma_f (p_f - p_0) + \gamma_m (p_m - p_0)] \right\} + \left\{ \frac{\varepsilon_{\max} f_m}{\phi_{f0}} \left[\frac{K}{M_c} - 1 \right] \left(\frac{p_m}{p_m + P_\varepsilon} - \frac{p_0}{p_0 + P_\varepsilon} \right) \right\}^3$$

$$C_m = \frac{p + \sigma_{xt} - p_a}{4c + 2(\sigma_{xt} + \sigma_{yt}) \tan \varphi} \geq 1$$



煤与瓦斯突出卸压消能与介质改性协同防控原理

北京清析技术研究院
分析报告

地址: 北京市海淀区中关村路1号清华同方科技大厦B座
服务热线: 010-59471010 E-mail: lch@tangshu-research.com

序号	组分名称	牌号/CAS NO.	测试结果	单位
1	苯	71-43-2	未检出	mg/m ³
2	甲苯	108-88-3	未检出	mg/m ³



本公司由招 KEZMC 刑矿用环保刑相亦解防杜孔密封材料

材料，
受理

**EPCG及其配套封孔器全部通过环保、保质、安标认证
入选国家矿山安全监察局《煤矿安全生产先进适用技术装备推广目录》**

2.1 料泥数据分板, 苯系物和甲酯未检出, 酸值和腐蚀速率也不高。

防腐效果实验参照: ASTM D2574-97
防霉效果实验参照: ASTM G21-09

上海瓦加生物科技有限公司
微生物实验中心

第 2 页 共 2 页

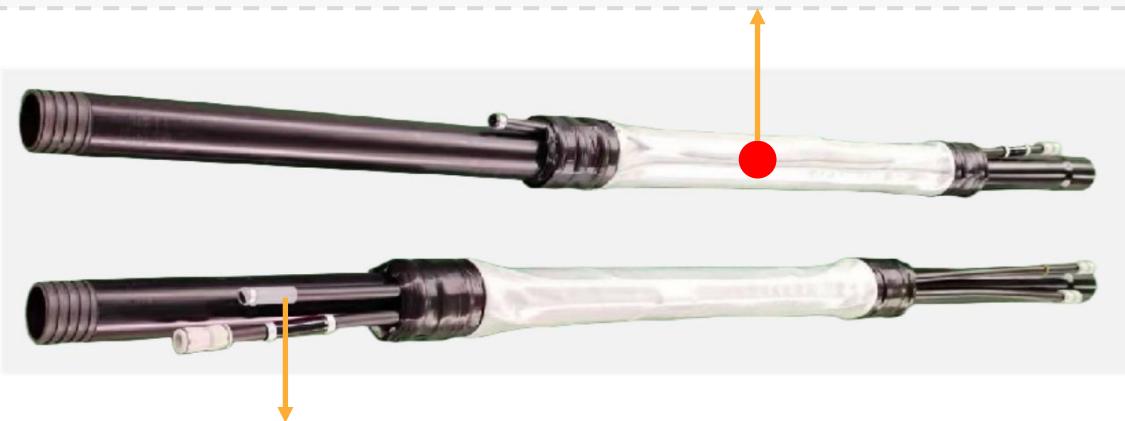
地址 (Address): 上海闵行区闵北工业园区
电话 (Tel): 021-39886151
网址 (Website): www.waga-biology.com

邮编 (Post code): 201700
传真 (Fax): 021-39886151
邮箱 (Email): sale@waga-biology.com

1.5 煤与瓦斯突出卸荷消能与介质改性协同防控

配套开发了**补偿式自适应封孔器**和**智能化配注浆封孔车**，2MPa注浆压力条件下**0渗漏**，弹胀率大于150%，**实现了一键全自动精准配注浆**，为抽采钻孔精准高质量密封提供了关键装备支撑

- 注浆0渗漏实现保压注浆；
- 弹胀率大于150%，适应钻孔变形



- 及时处置首次封孔过程注浆不佳问题；
- 抽采后期补偿注浆实现二次或多次修复性密封，实现长效密封

补偿式自适应封孔器



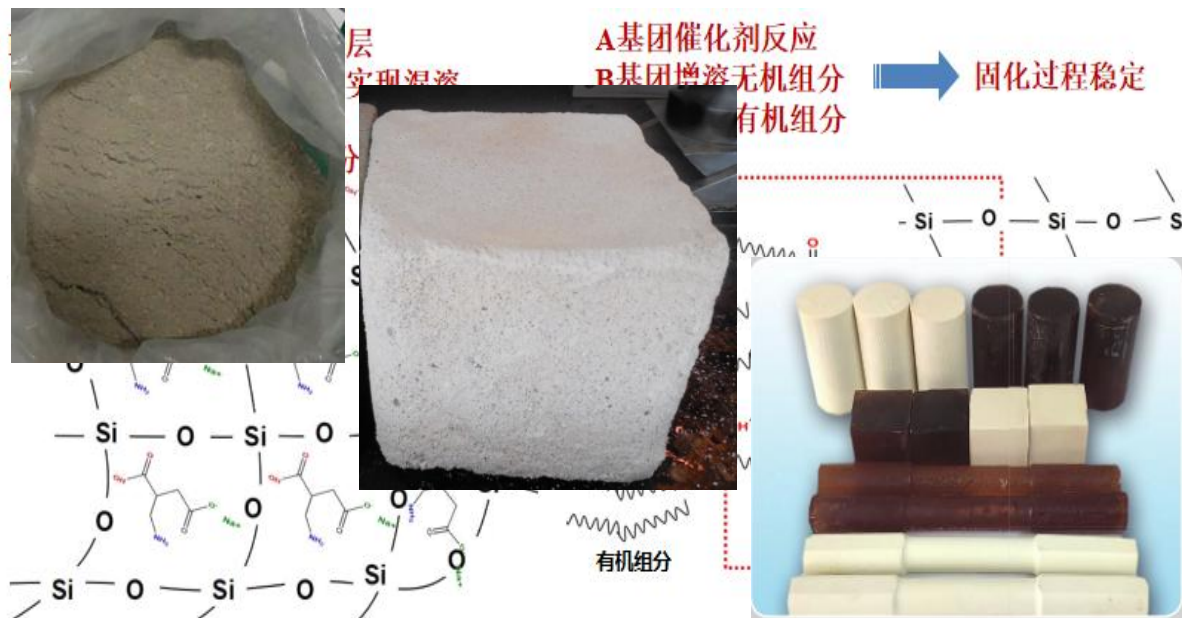
智能化配注浆封孔车

1.5 煤与瓦斯突出卸荷消能与介质改性协同防控

开发了适用于松软煤层的高渗透强粘结加固稳构材料，浆液渗透性好、粘结强度高（高达4.5MPa，水泥约1MPa），极大提高了松软破碎煤体整体强度，解决了以往松软煤层“难扩散、注不进、粘不住”的技术难题



有机-无机复合注浆材料生产装置

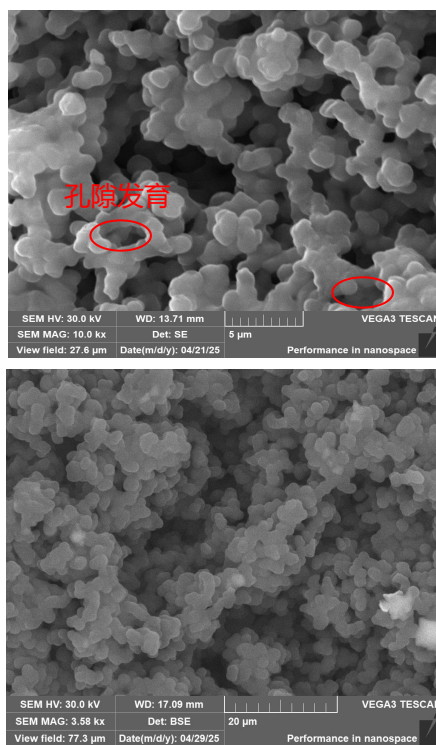


1.5 煤与瓦斯突出卸荷消能与介质改性协同防控

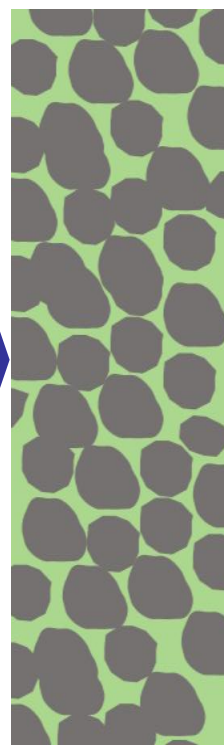
最新发明了**透气型加固改性材料**，平均渗透率 $> 1\text{mD}$ ，卸压增透区域注浆扩散半径 $> 1.5\text{m}$ ，煤体强度提升50%以上，攻克了松软煤体**加固改性**与**瓦斯排放**的技术矛盾，可解决因加固改性导致煤体瓦斯排放通道受阻的技术难题



材料成孔机理



材料透气性



材料固结性

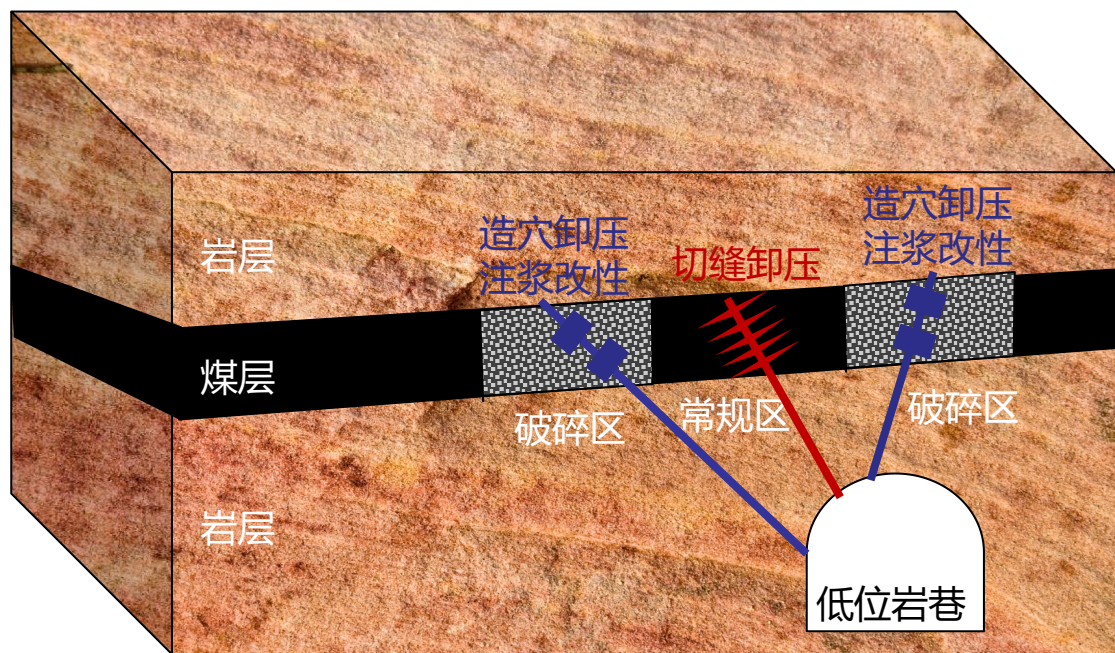


材料固结性煤体效果

1.5 煤与瓦斯突出卸荷消能与介质改性协同防控

提出了构造区和石门揭煤“**煤层造穴卸压-注浆加固改性**”协同防突技术工艺，配合相变凝胶钻孔密封技术应用，瓦斯含量由 $15.55\text{m}^3/\text{t}$ 降低至 $7.68\text{m}^3/\text{t}$ 仅用54天，揭煤时间由平均320d减少至71d，**揭煤效率提升77%**

发明专利：煤与瓦斯突出卸压消能与介质属性改造协同防控方法[P]. ZL20181073159.1



“煤层造穴卸压-注浆加固改性”协同防突技术工艺

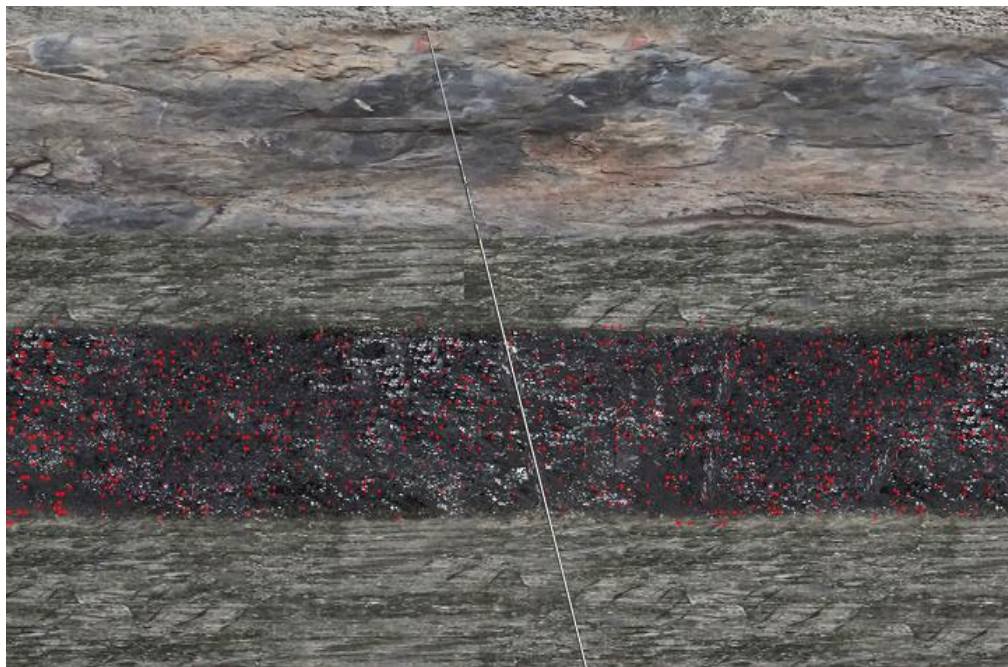


揭穿煤层区域注浆加固效果

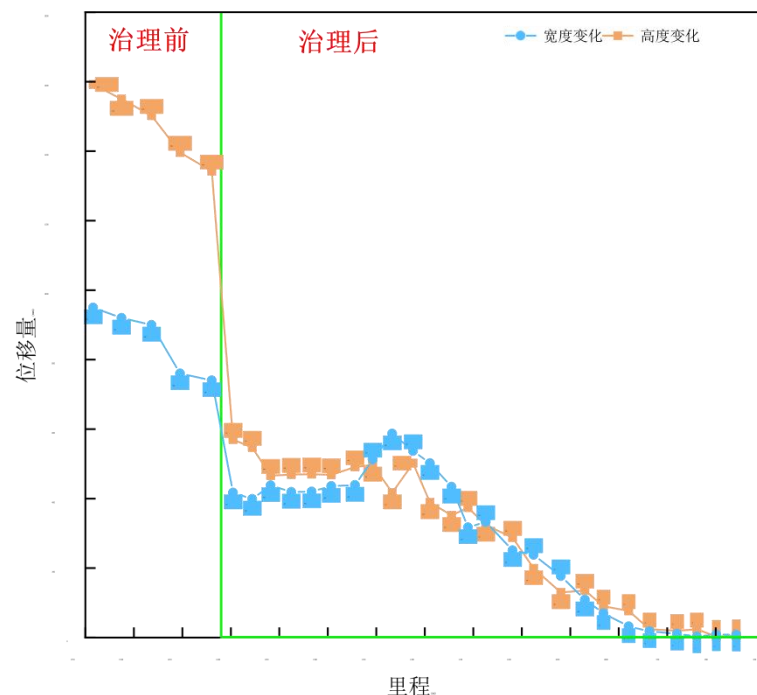
1.5 煤与瓦斯突出卸荷消能与介质改性协同防控

针对煤矿地质异常区应力集中效应严重和瓦斯局部富集的问题，发明了“**煤层造穴卸压-顶板预裂改性**”协同防突技术工艺，现场应用巷道变形得到有效控制（高度位移减少62%，宽度位移减少28%），微震事件减少60%

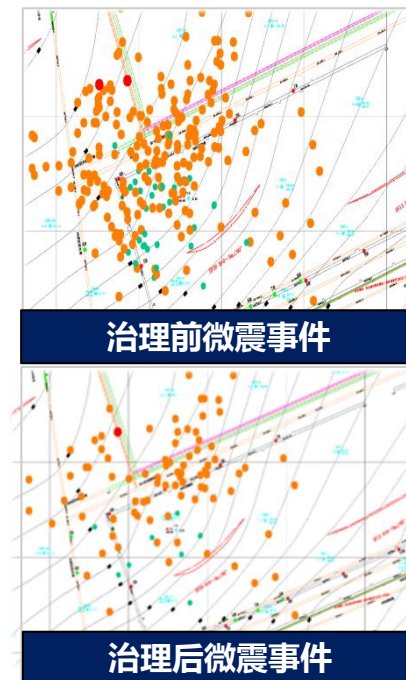
发明专利：一种煤矿井下防控煤岩瓦斯复合动力灾害方法及装置[P]. ZL202210276965.8



“煤层造穴卸压-顶板预裂改性”协同防突工艺



“煤层造穴卸压-顶板预裂改性”协同防突现场应用效果

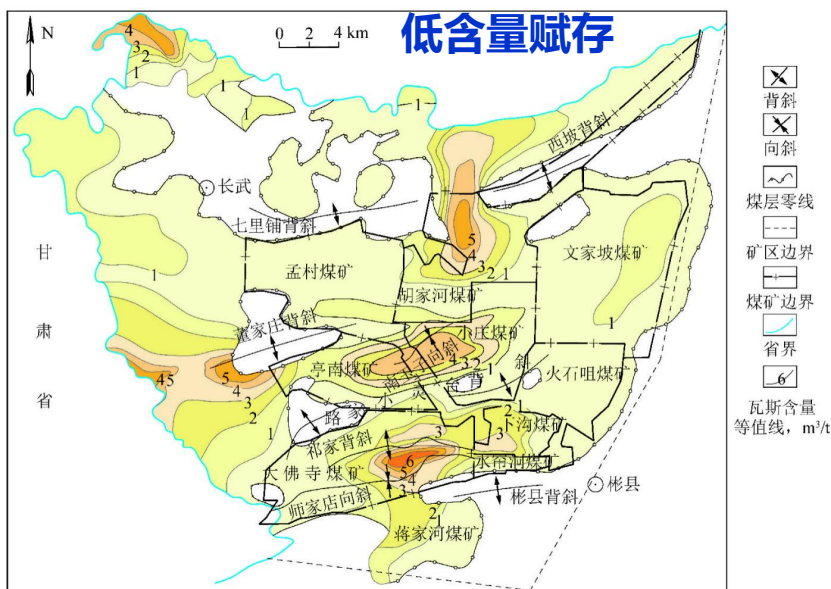


2

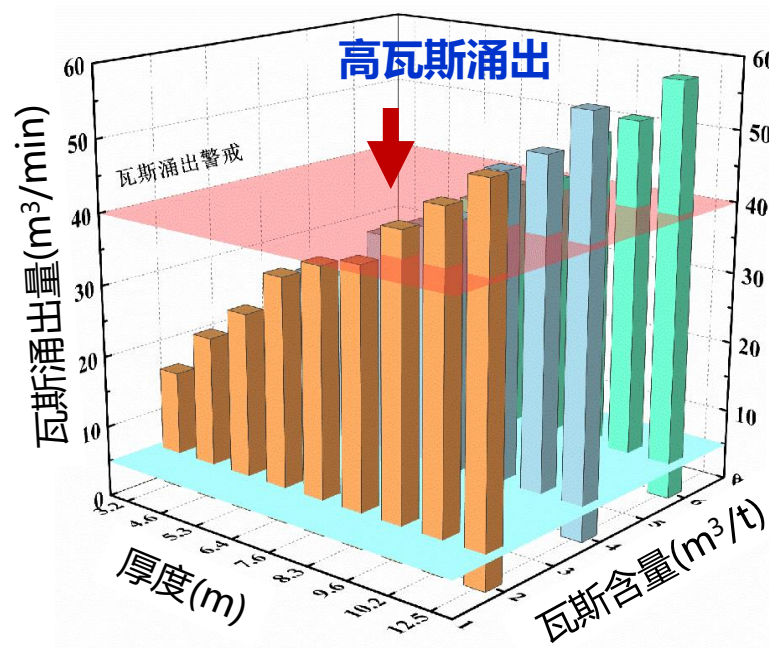
西部瓦斯灾害如何科学防控？

2.1 西部主产矿区瓦斯灾害特点

- 我国**厚煤层**资源量约占总资源量的**45%**，尤其在**中西部**极为丰富
- **中西部厚煤层矿区**是**智能化高产高效矿井**建设主体，**千万吨级煤矿**已达**70余处**
- 智能高效集约化导致厚煤层高强度开采 “**低瓦斯含量、高瓦斯涌出**” 问题突出



彬长矿区4号煤层瓦斯含量等值线图



瓦斯涌出量随产量关系

彬长大佛寺煤矿:

- 煤层瓦斯含量3~5m³/t
- 绝对涌出量达120m³/min
- 历年最大高达210m³/min

大同塔山煤矿:

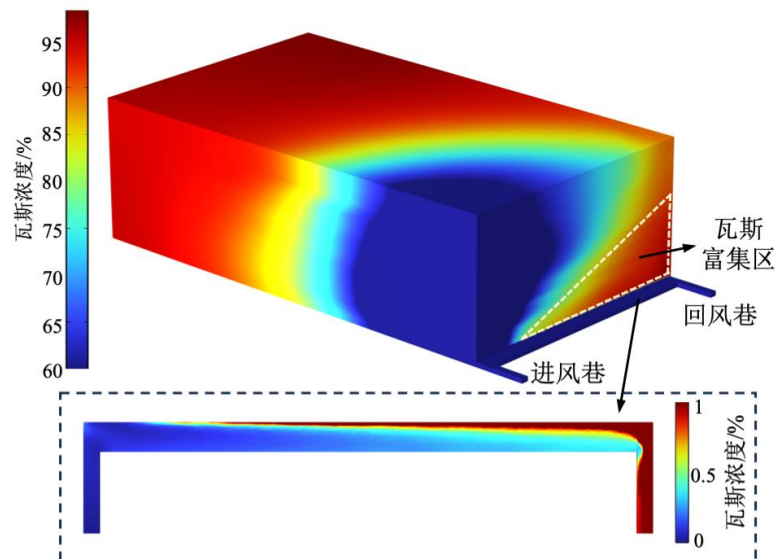
- 煤层瓦斯含量1.5~3m³/t
- 绝对涌出量达115m³/min
- 高位巷工程量大且有隐患

中西部厚煤层开采强度居世界第一，工作面瓦斯涌出量大、瓦斯灾害威胁大

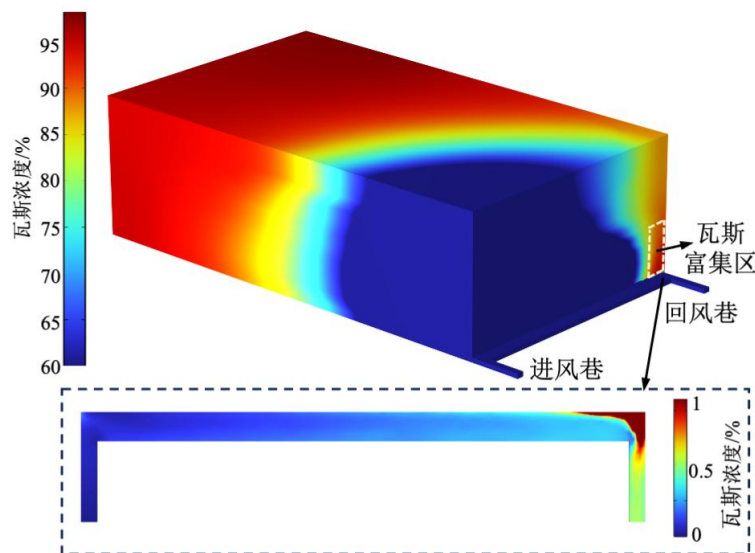
2.1 西部主产矿区瓦斯灾害特点

■ 瓦斯灾害严重制约着中西部厚煤层安全高效开采

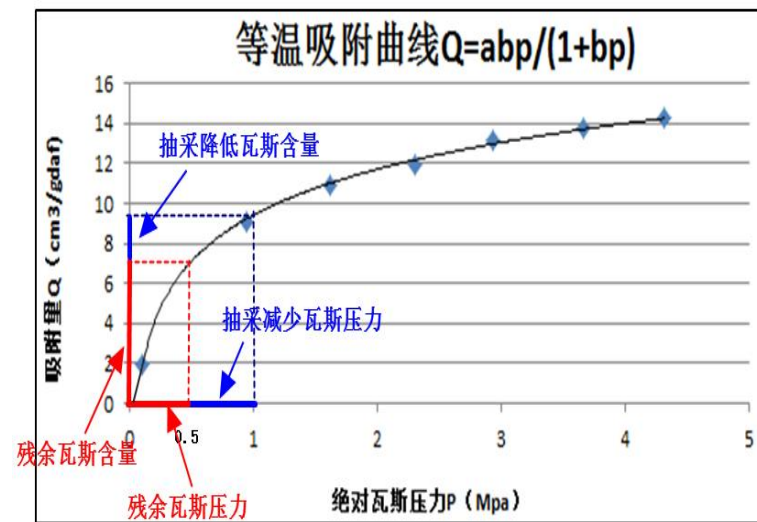
- 综放高强度开采和采空区流场特征决定了U型通风工作面上隅角瓦斯易积聚
 - 煤层瓦斯含量偏低，运移驱动力不足，导致常规预抽和增透技术措施效果差
 - 智能化矿井建设注重工作面智能化开采，但对于通风智能调节研究相对滞后
- “双零”目标管理要求背景下，上隅角若频繁出现超限隐患，工作面智能化安全高效开采难以保证！**



大采高综放采空区瓦斯分布特征



大采高综采采空区瓦斯分布特征



低瓦斯含量煤层瓦斯运移动力低

2.1 西部主产矿区瓦斯灾害特点

■ 建立了综放面上隅角瓦斯浓度预测模型及零超限关键控制条件

$$\begin{cases} \frac{c_{uc}}{2}[Q+(1-c_m)\frac{I}{2}]=c_m\frac{I}{2} \\ Q=\frac{4(P_1-P_2)h}{\pi^2 r}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(-1)^{n-1}}{(2n-1)^2}\Rightarrow c_{uc}=\frac{2c_m}{1-c_m+3136\sqrt{\tau}}\% \\ \frac{Q}{I}=3.664\frac{h(P_1-P_2)\sqrt{\pi r p_0}}{\pi^2 r\times 2\varepsilon h L\sqrt{\Pi\tau}} \end{cases}$$

C_{uc} 受 c_m 和 τ 主要控制，其中 τ 变化范围大，重点通过降低 c_m 值控制上隅角瓦斯浓度。

• 尽量减少采空区遗煤



• 控制工作面推进速度



• 设法降低煤层瓦斯含量



• 采中抽采减少瓦斯涌出



• 工作面预警与通风调节

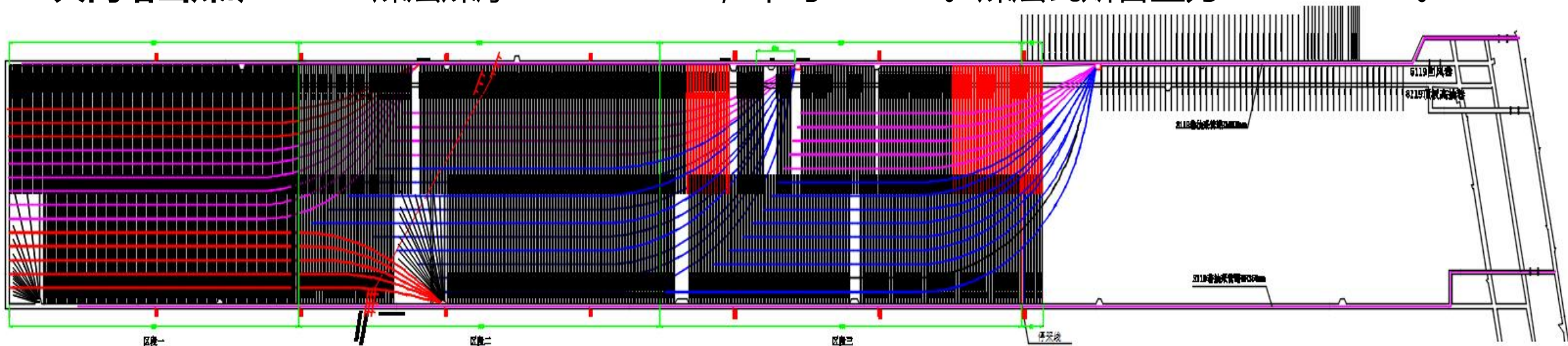


形成了适用于低瓦斯赋存智能综放高效开采工作面的采前增能促流超低化预抽、采中低位动态裂隙区精准截抽、生产全过程智能预警与控风瓦斯协同治理体系！

2.2 采前增能促流强化抽采技术与装备

■ 中西部厚煤层瓦斯赋存特征与中东部高瓦斯突出矿区存在很大差异

大同塔山煤矿：3-5#煤层煤厚1.63-29.21m，平均18.44m。煤层瓦斯含量为3.4~3.87m³/t。

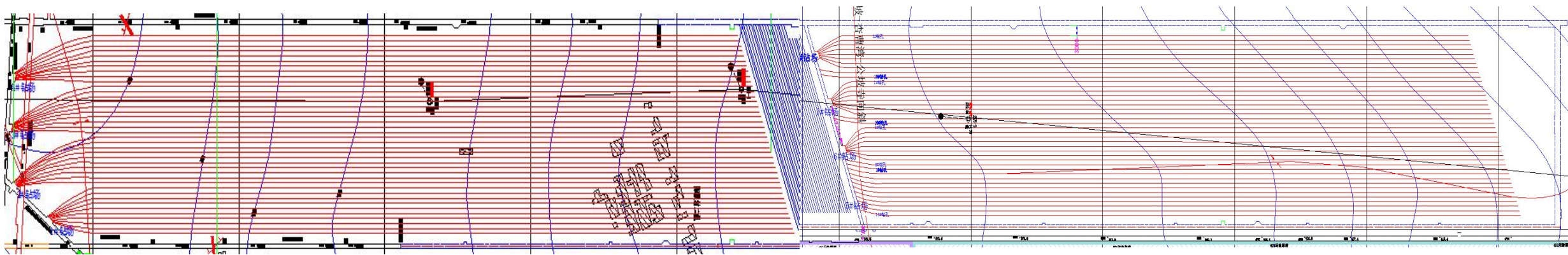


- 共施工普通顺层预抽钻孔1659个，其中进风巷781个，回风巷878个，进尺214076m；顶分层施工定向长钻孔42个，每个区段设计钻孔14个，施工进尺24550m。
- 定向长钻孔初期单孔抽采纯量1m³/min，抽采5个月后0.5~0.7m³/min；本煤层普通顺层钻孔初期单孔抽采纯量0.04m³/min，抽采5个月后0.01~0.02m³/min。

2.2 采前增能促流强化抽采技术与装备

■ 中西部厚煤层瓦斯赋存特征与中东部高瓦斯突出矿区存在很大差异

黄陇煤田某煤矿：煤层为单一厚煤层，平均厚度8.29m，**煤层瓦斯含量为 $3.68 \sim 3.98 \text{m}^3/\text{t}$** 。



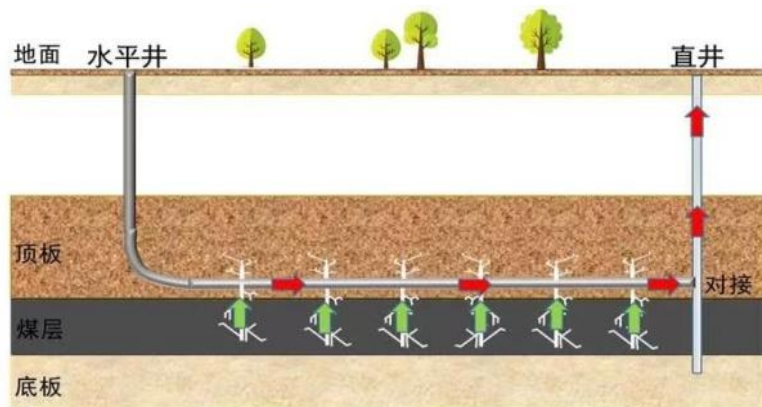
淮南煤层透气性系数	$0.001135 \text{m}^2/(\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$	黄陇煤田某煤矿	$0.90 \sim 0.96 \text{m}^2/(\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$	塔山矿	$14.06 \sim 18.48 \text{m}^2/(\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$
AQ1027-2006	较难抽采		可以抽采		容易抽采

该矿工作面定向长钻孔预抽单孔初始抽采纯量为 $0.153 \text{m}^3/\text{min}$ （塔山是 $1 \text{m}^3/\text{min}$ ），抽采2个月后钻孔抽采量降至 $0.048 \text{m}^3/\text{min}$ （塔山是 $0.5 \sim 0.7 \text{m}^3/\text{min}$ ），浓度范围 $0.2 \sim 5\%$ ，钻孔抽采衰减快。

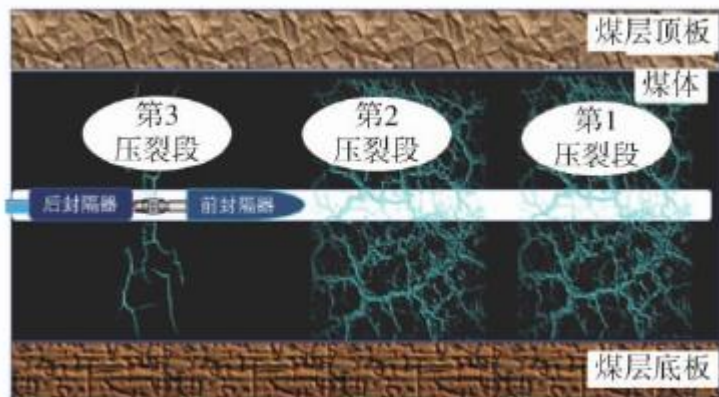
厚煤层低瓦斯赋存、高瓦斯涌出，渗透性不差但难抽

2.2 采前增能促流强化抽采技术与装备

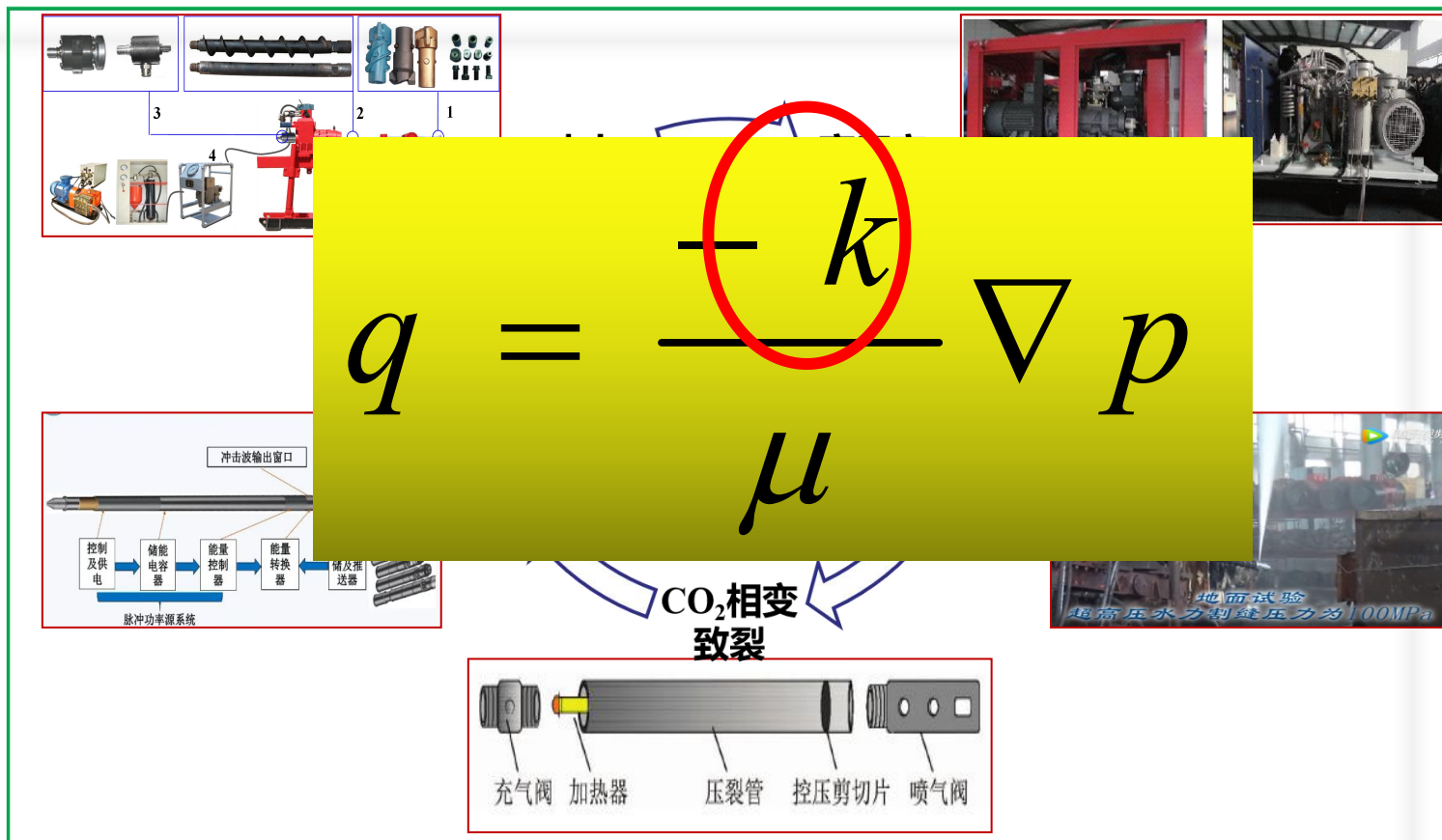
- 系列化地面和井下高效抽采、增透技术与装备，在中西部低瓦斯赋存高瓦斯涌出煤层难以奏效



碎软煤层顶板岩层水平井分段压裂



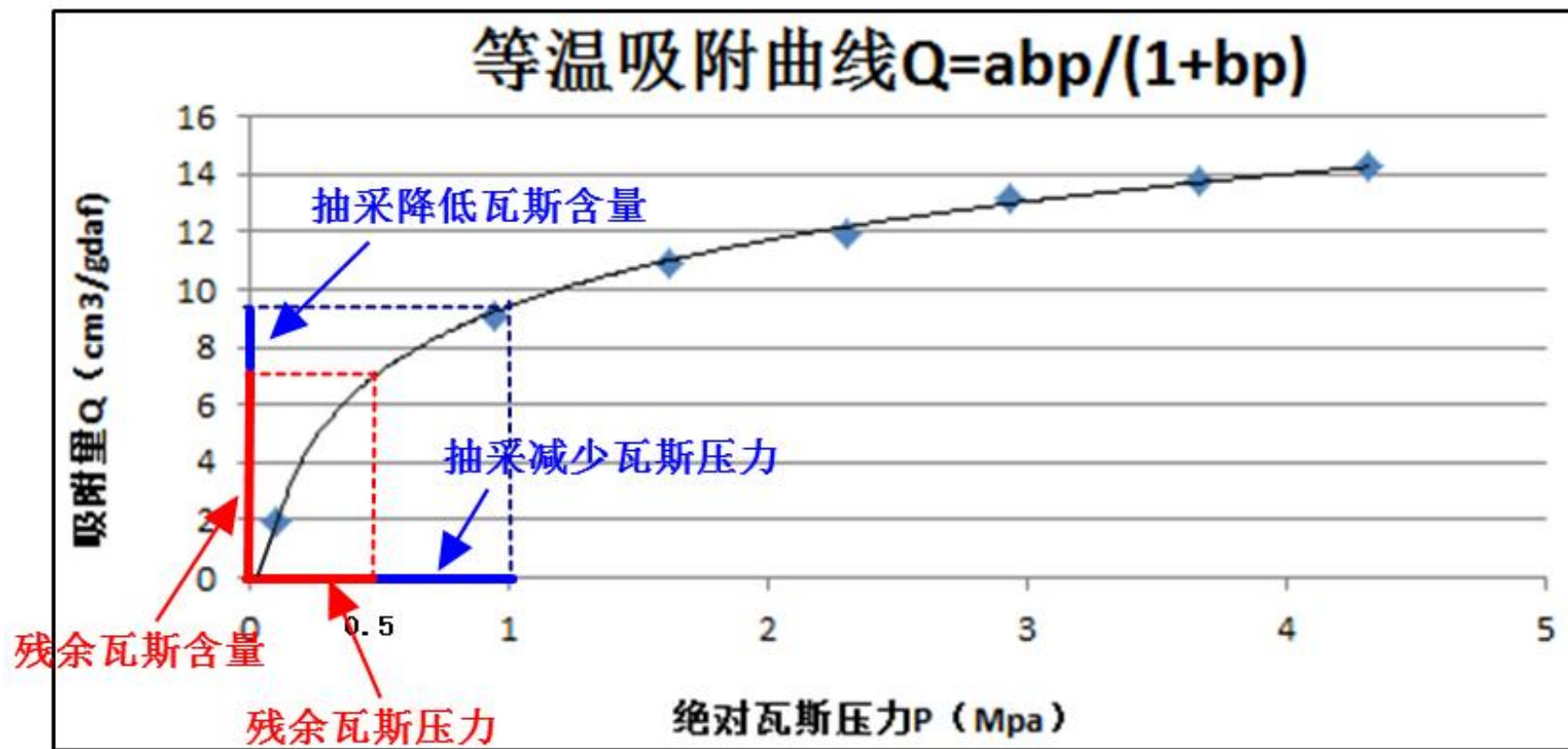
顺层分段水力压裂示意图



2.2 采前增能促流强化抽采技术与装备

- 提升瓦斯运移动力（增能）来促进瓦斯运移（促流）是解决中西部厚煤层瓦斯问题（低瓦斯赋存高瓦斯涌出）的新思路

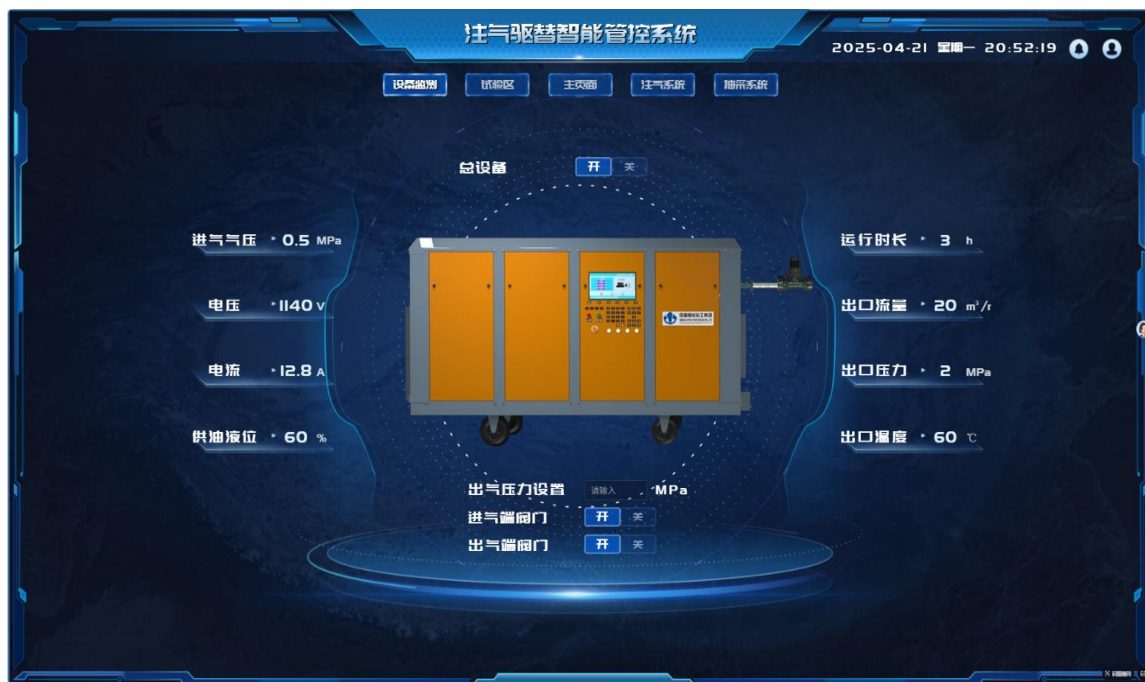
$$q = \frac{-k}{\mu} \cdot \nabla p$$



2.2 采前增能促流强化抽采技术与装备

■ 开发大流量中高压力增能促抽装备，精准调节增能促抽关键工艺参数

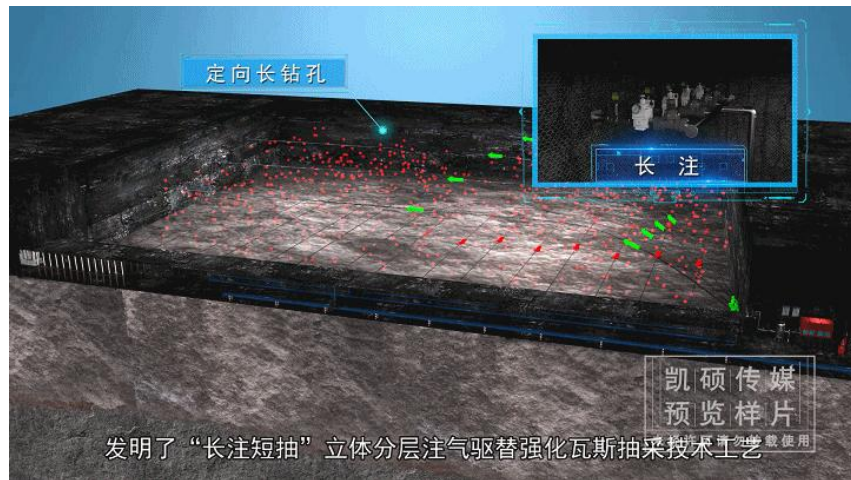
研发压驱一体大流量增能促流装备，突破**升荷反馈与气相环流增压、无背压和均负荷节流稳压的多层活动密封**等关键技术，实现装备高压大流量稳定输出及压驱参数自适应调控。



压驱一体增能促流智能调控系统

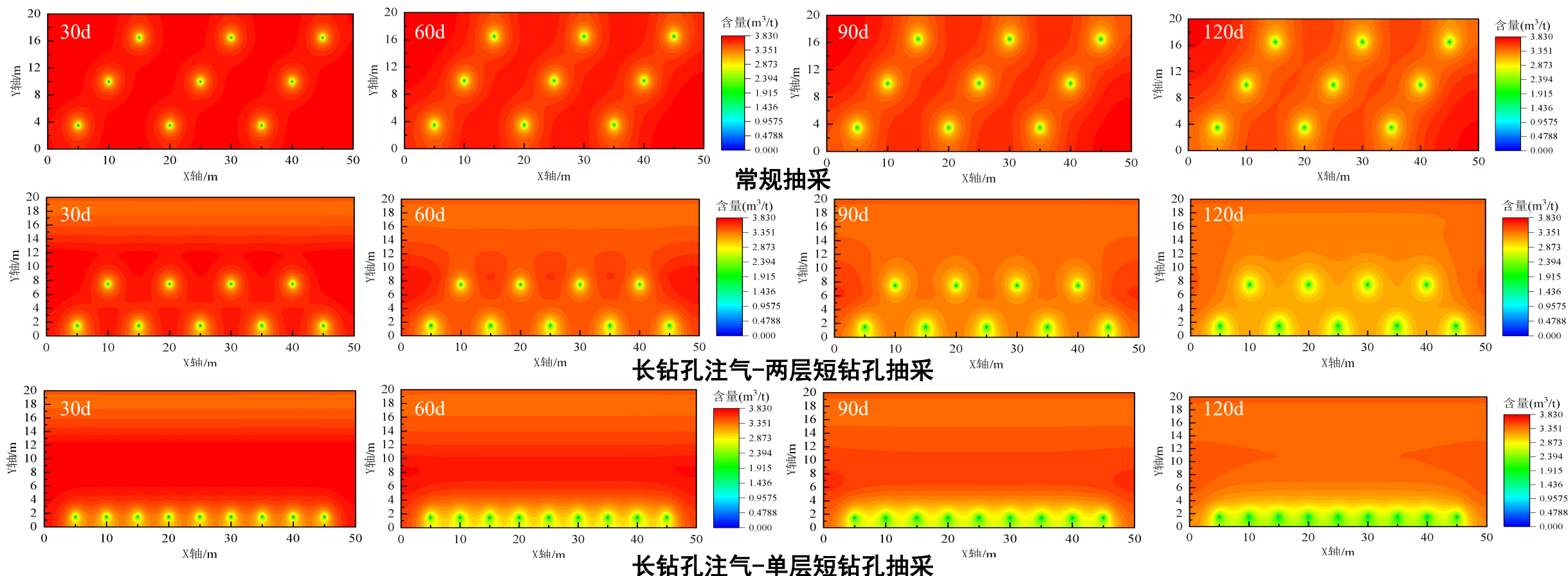
2.2 采前增能促流强化抽采技术与装备

■ 发明了适用于特厚煤层条件的长注短抽分层立体增能促流关键技术



2.2 采前增能促流强化抽采技术与装备

- 研究了常规瓦斯抽采、顶部定向长钻孔注气-下部一层短钻孔抽采、顶部定向长钻孔注气-下部二层短钻孔抽采条件下瓦斯治理效果；
- 与常规抽采相比，采用立体增能促抽工艺煤层瓦斯含量降低54%以上。

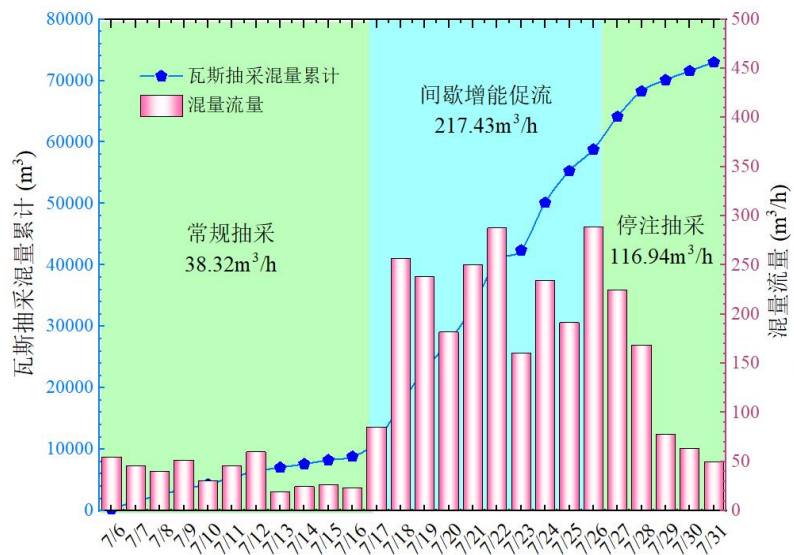
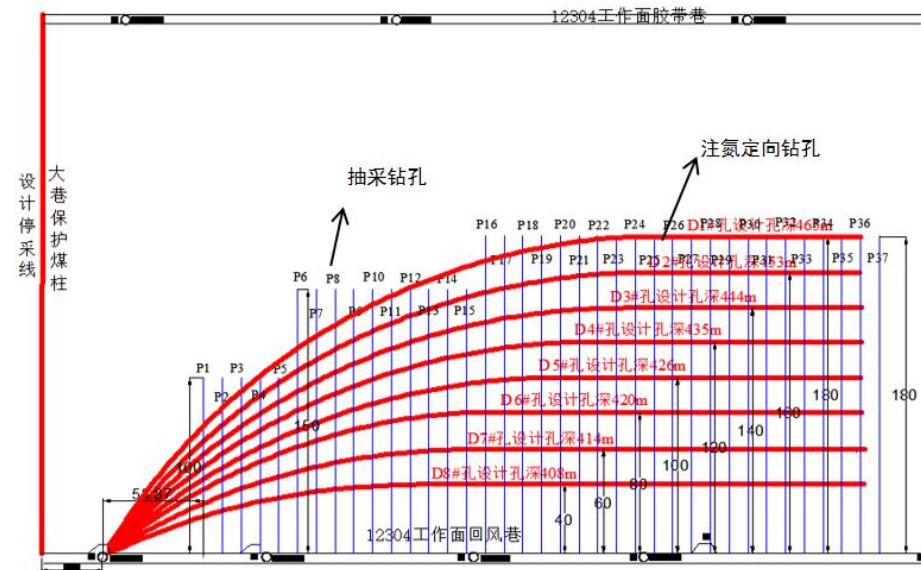


2.2 采前增能促流强化抽采技术与装备

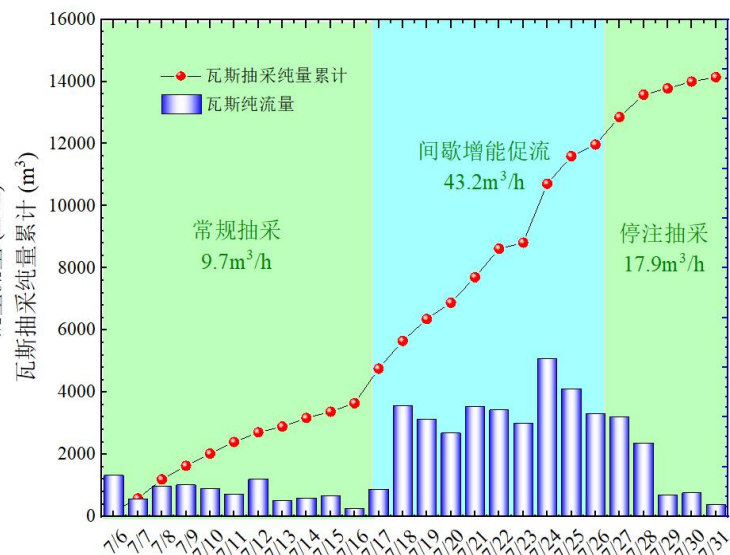
■ 长注短抽分层立体增能促流技术工程试验

中煤集团某煤矿：常规抽采单孔抽采纯量为 $0.002 \sim 0.009 \text{m}^3/\text{min}$ ，该技术应用后单孔抽采纯量为 $0.006 \sim 0.029 \text{m}^3/\text{min}$ ，抽采纯量提升**3 ~ 3.22倍**。

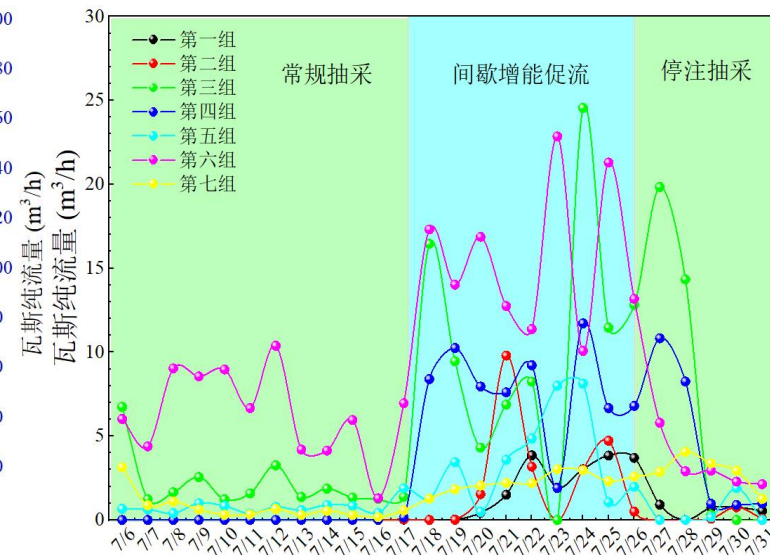
解决了抽不动、抽不出的问题。



瓦斯抽采混量变化情况



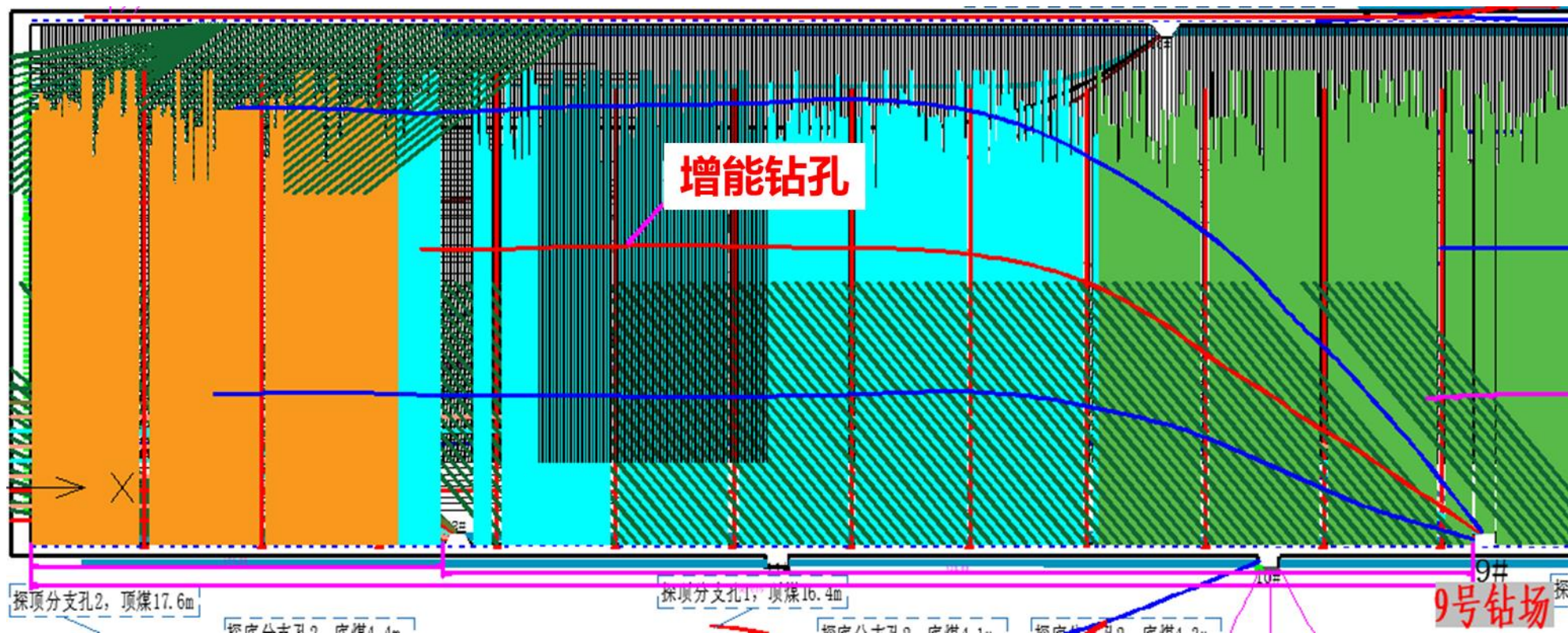
瓦斯抽采纯量变化情况



组间瓦斯抽采纯量变化情况

■ 特厚煤层长注短抽分层立体增能促流技术工程试验

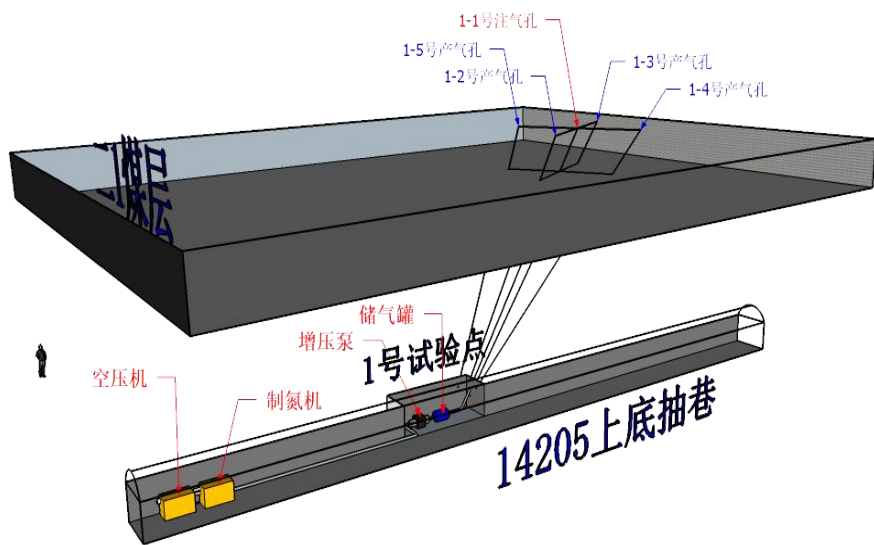
陕煤集团某煤矿：增能促抽钻孔选取403109工作面原有9号钻场煤层瓦斯抽采2#定向长钻孔，孔深483m，钻孔平距120m，层高10m（抽采纯量提升3~7倍，解决了抽不动、抽不出的问题）



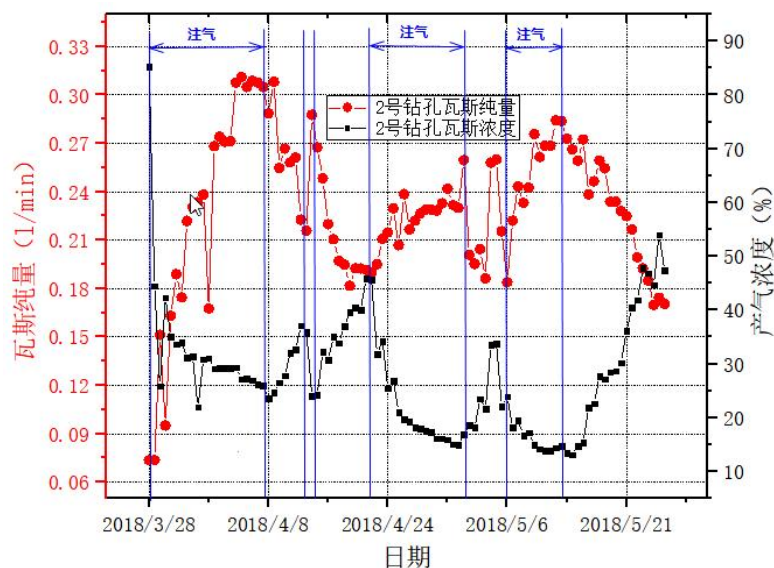
2.2 采前增能促流强化抽采技术与装备

■ 可以解决高瓦斯和突出矿井**抽采衰竭钻孔难抽难题**，助力根本消突和抽采达标

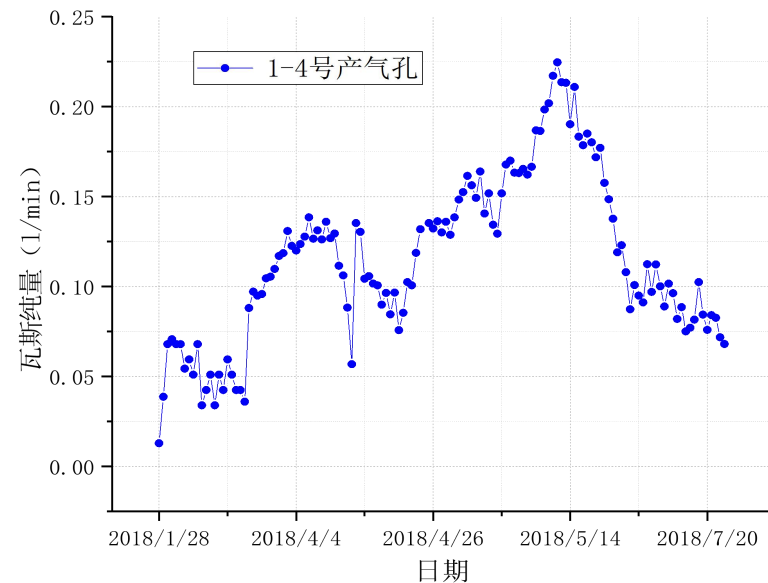
河南某矿**低渗碎软突出煤层**底抽巷注前煤层瓦斯含量为 $6.07 \sim 8.36 \text{m}^3/\text{t}$ ，试验后促抽范围内瓦斯含量降到 $5.41 \sim 5.76 \text{m}^3/\text{t}$ ；底抽巷条带消突达标时间减少了53%，钻孔工程量减少25%。



井下实际布孔示意图



增能促流抽采钻孔纯流量变化曲线



2.2 采前增能促流强化抽采技术与装备

● 煤矿井下煤层注气促抽工艺技术规范标准



前言

1 范围

2 规范性引用文件

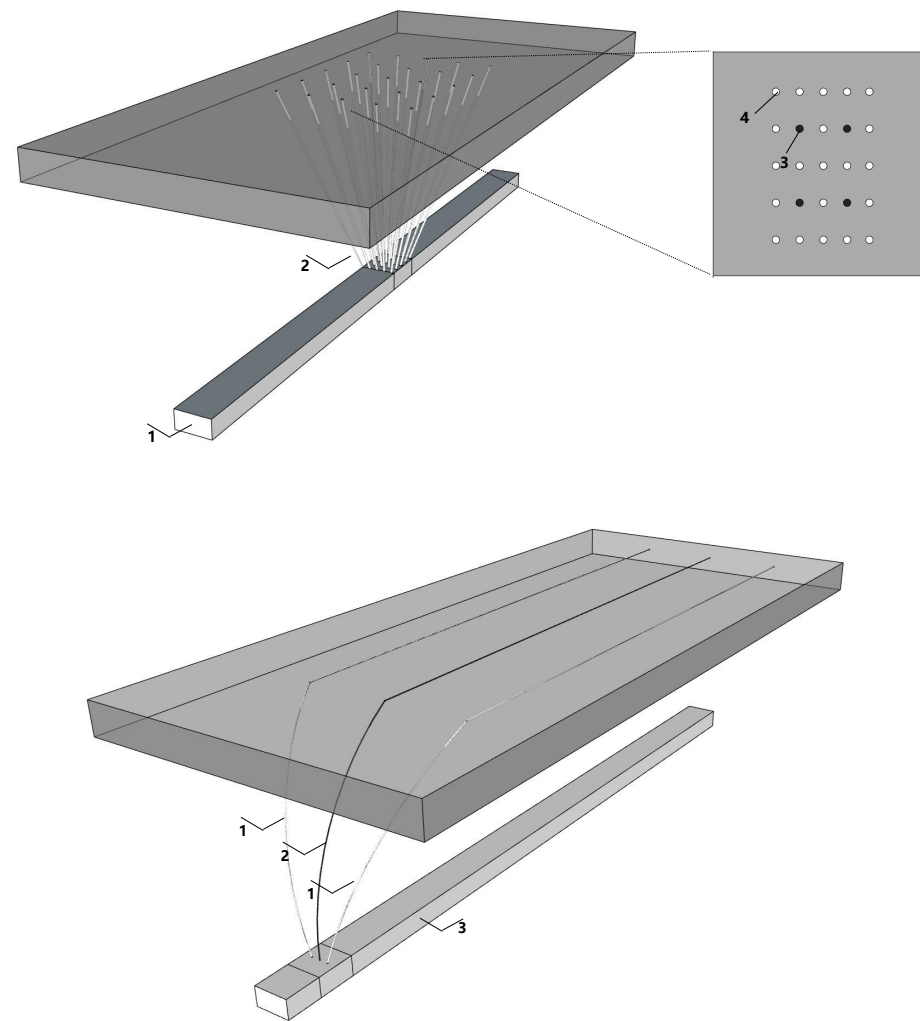
3 术语和定义

4 一般要求

5 注气促抽工艺流程

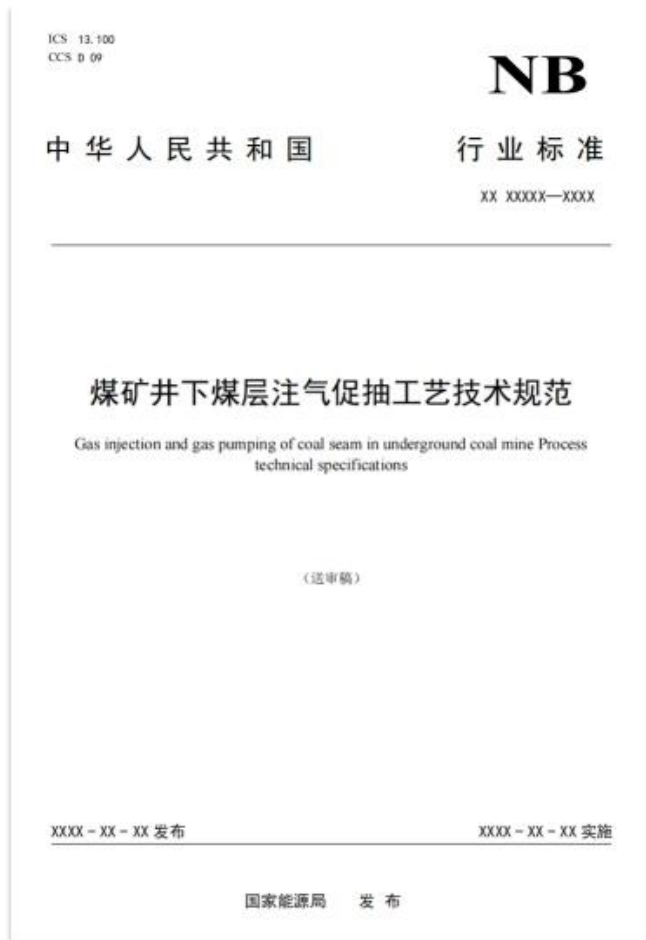
6 注气促抽钻孔布置方式

7 安全要求



2.2 采前增能促流强化抽采技术与装备

● 煤矿井下煤层注气促抽工艺技术规范标准



前言

1 范围

2 规范性引用文件

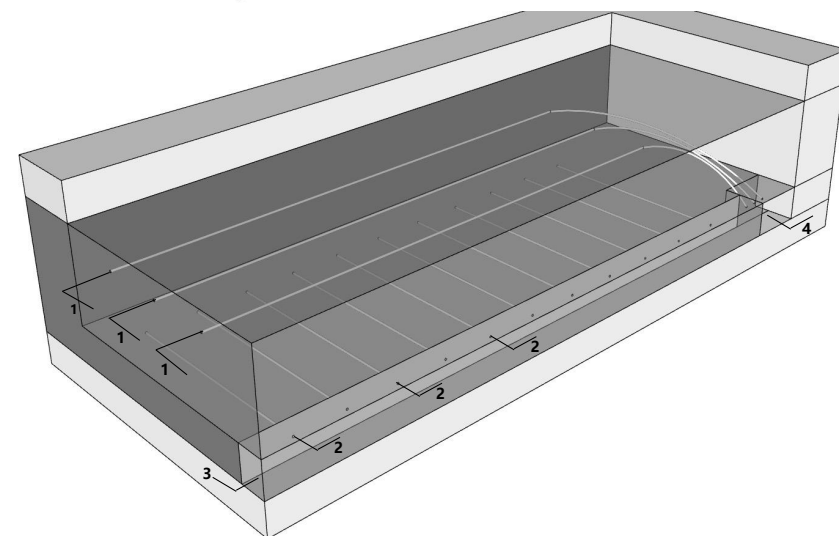
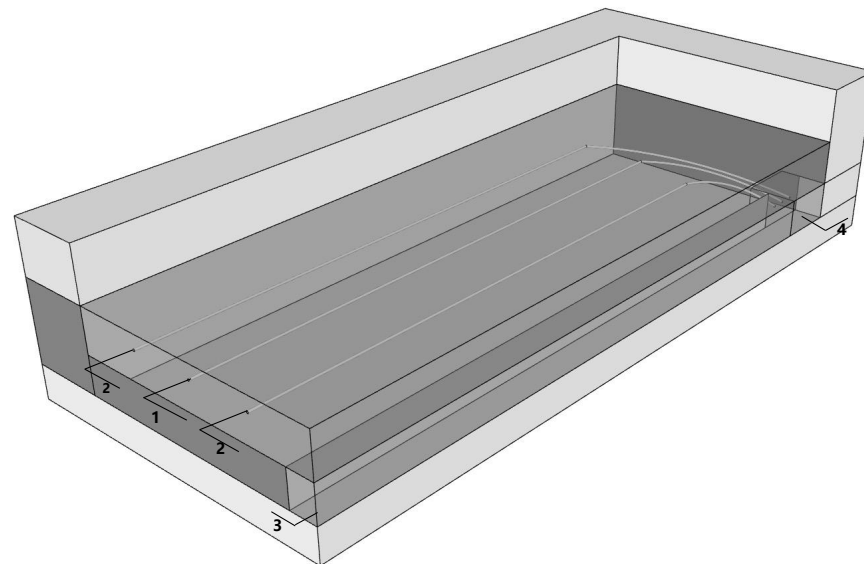
3 术语和定义

4 一般要求

5 注气促抽工艺流程

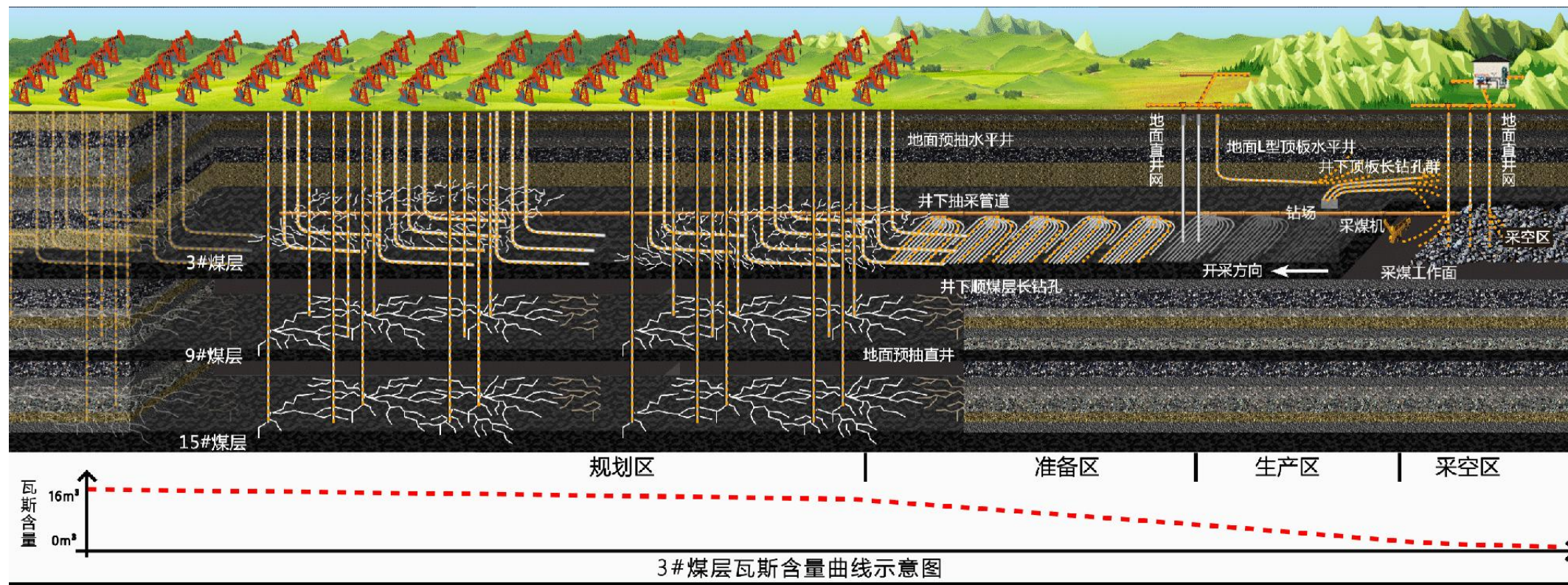
6 注气促抽钻孔布置方式

7 安全要求



2.3 采中低位动态裂隙区精准卸压截抽技术

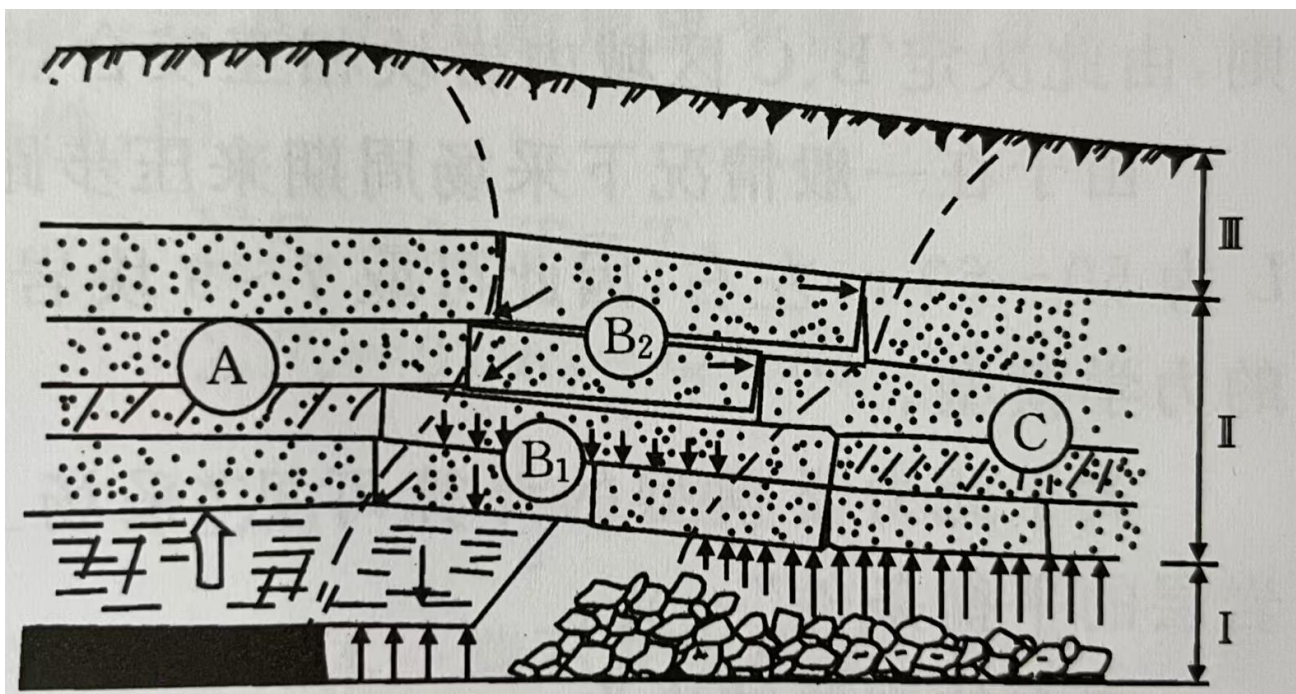
- 煤矿区煤层气全域协调开发方法区别于油气领域煤层气开发的最大特征是充分利用**采动影响效应**



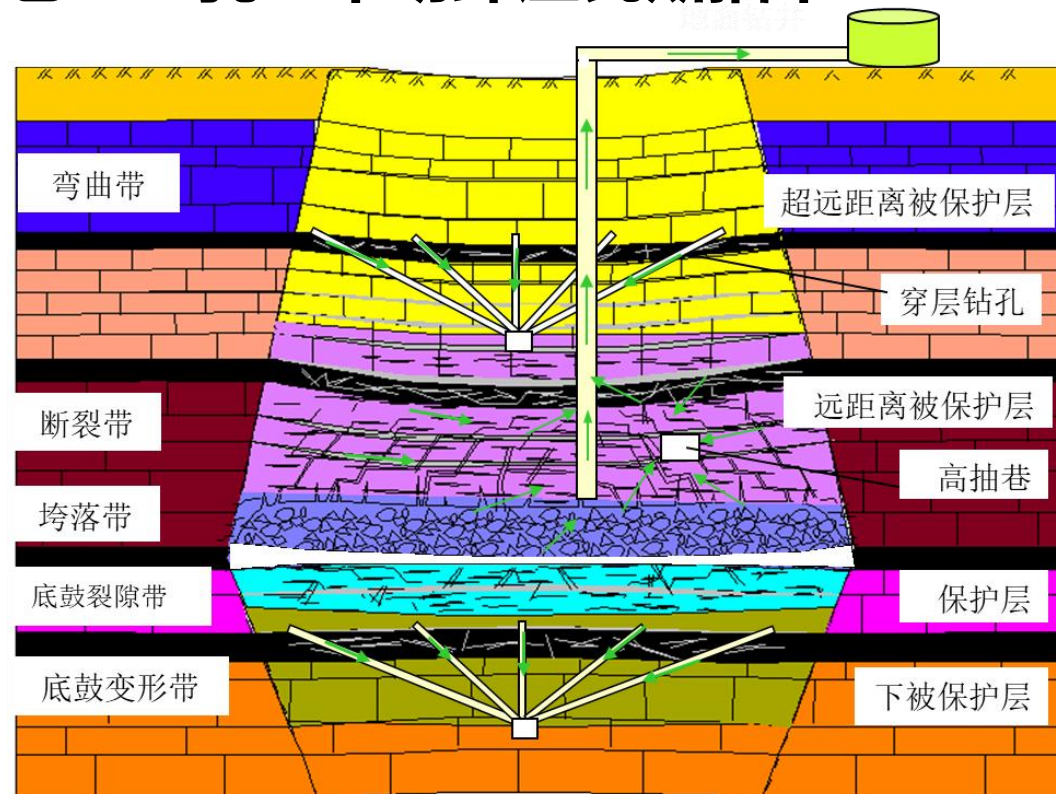
我国首创的煤矿区煤层气与煤炭“**四区联动**”井上下联合全域协调开发模式

2.3 采中低位动态裂隙区精准卸压截抽技术

■ 经典“横三区竖三带”理论指导了“井”“巷”“孔”采动卸压瓦斯抽采



“横三区竖三带”经典模型

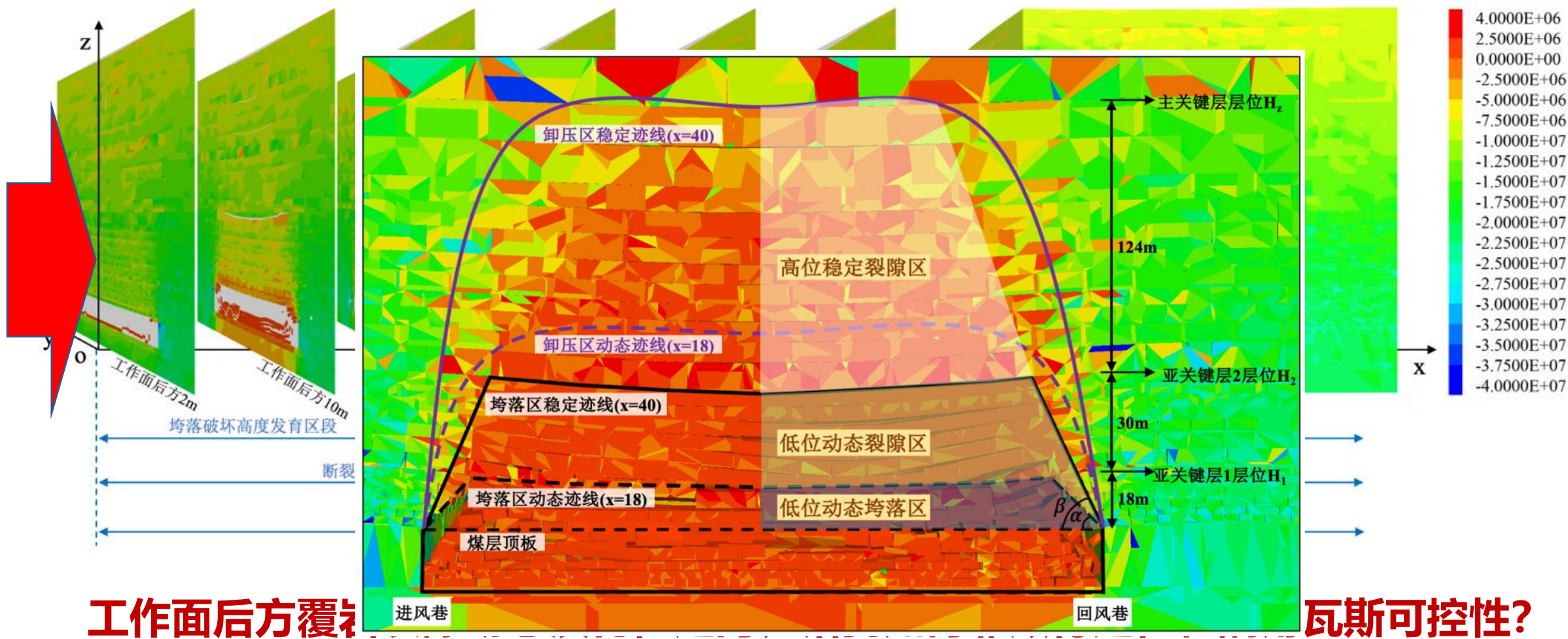


采动卸压井-巷-孔抽采技术示意

以往高突矿区煤层群赋存条件下，基本认识“采动卸压瓦斯抽采关键层位在裂隙带”

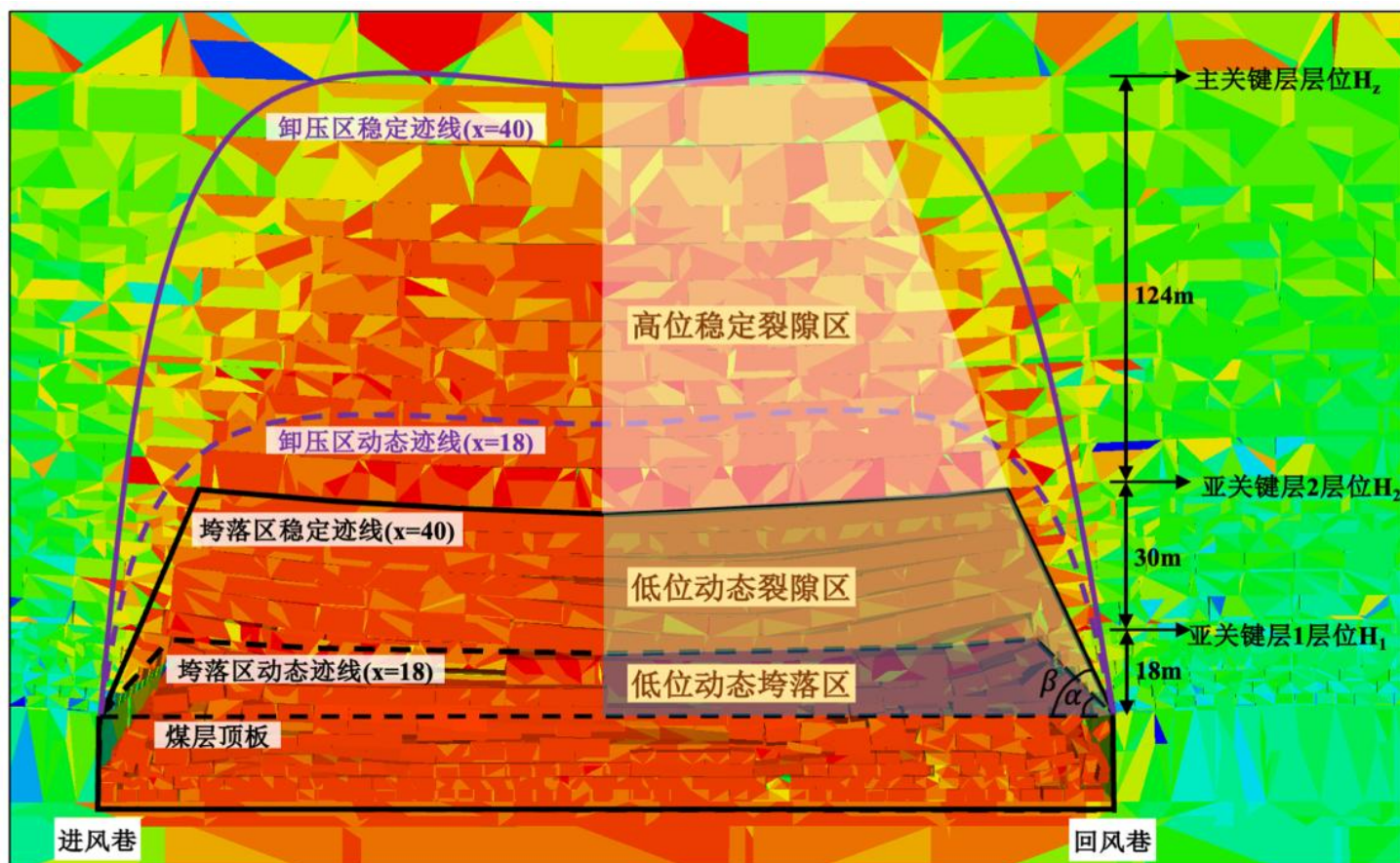
2.3 采中低位动态裂隙区精准卸压截抽技术

■ 中西部厚煤层多是单一煤层，控制采空区瓦斯防止上隅角超限是重点



2.3 采中低位动态裂隙区精准卸压截抽技术

- 提出了“采动低位动态垮落区”“采动低位动态裂隙区”的概念，进而建立了厚煤层综放开采工作面采中卸压瓦斯高效抽采优化设计方法



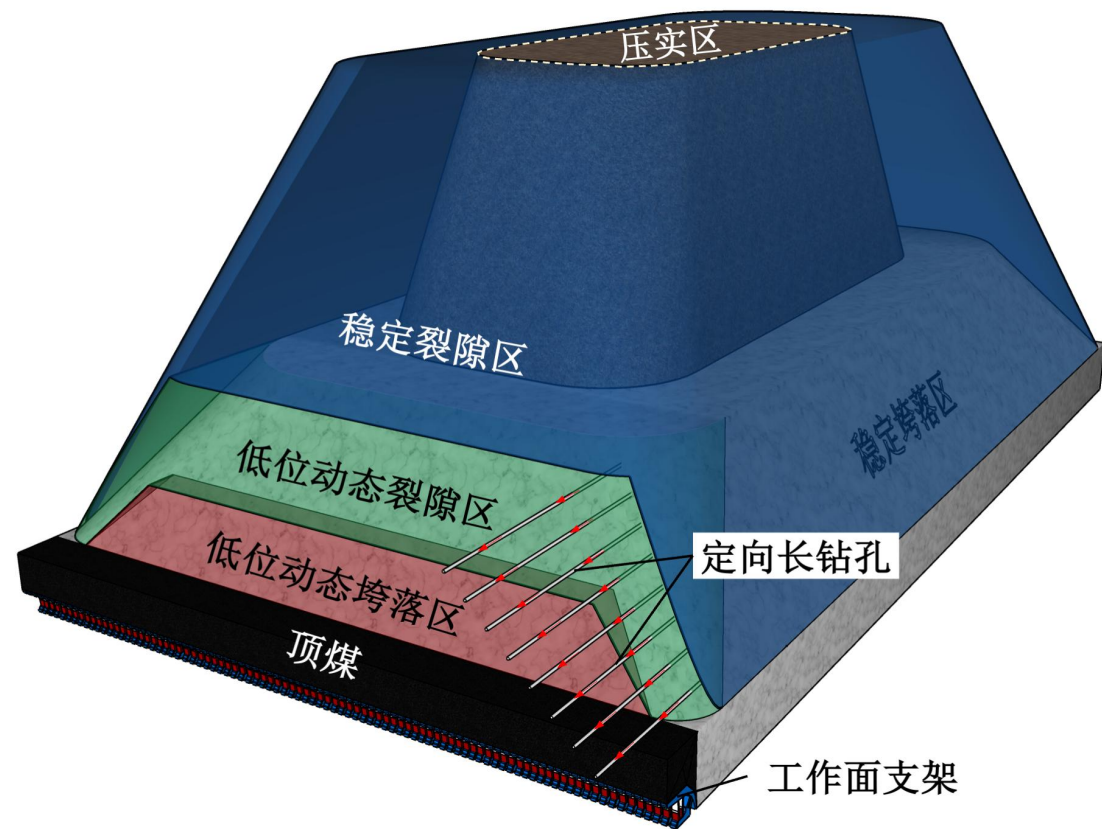
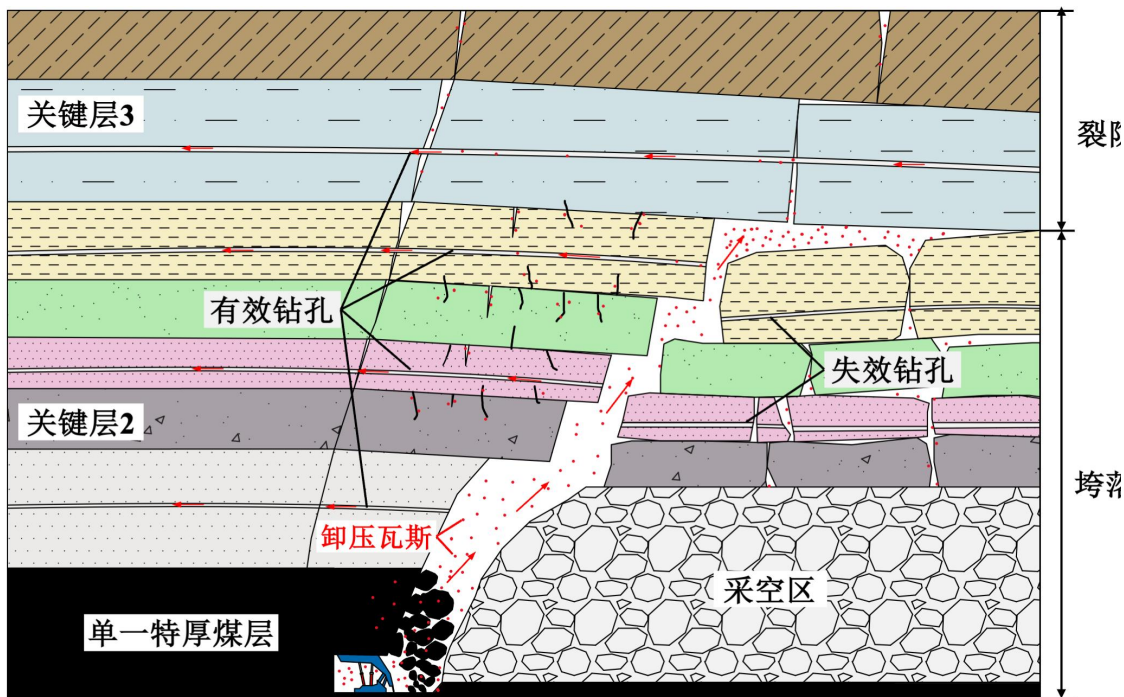
打在哪?

在哪抽?

覆岩垮落-裂隙分区倾向投影图

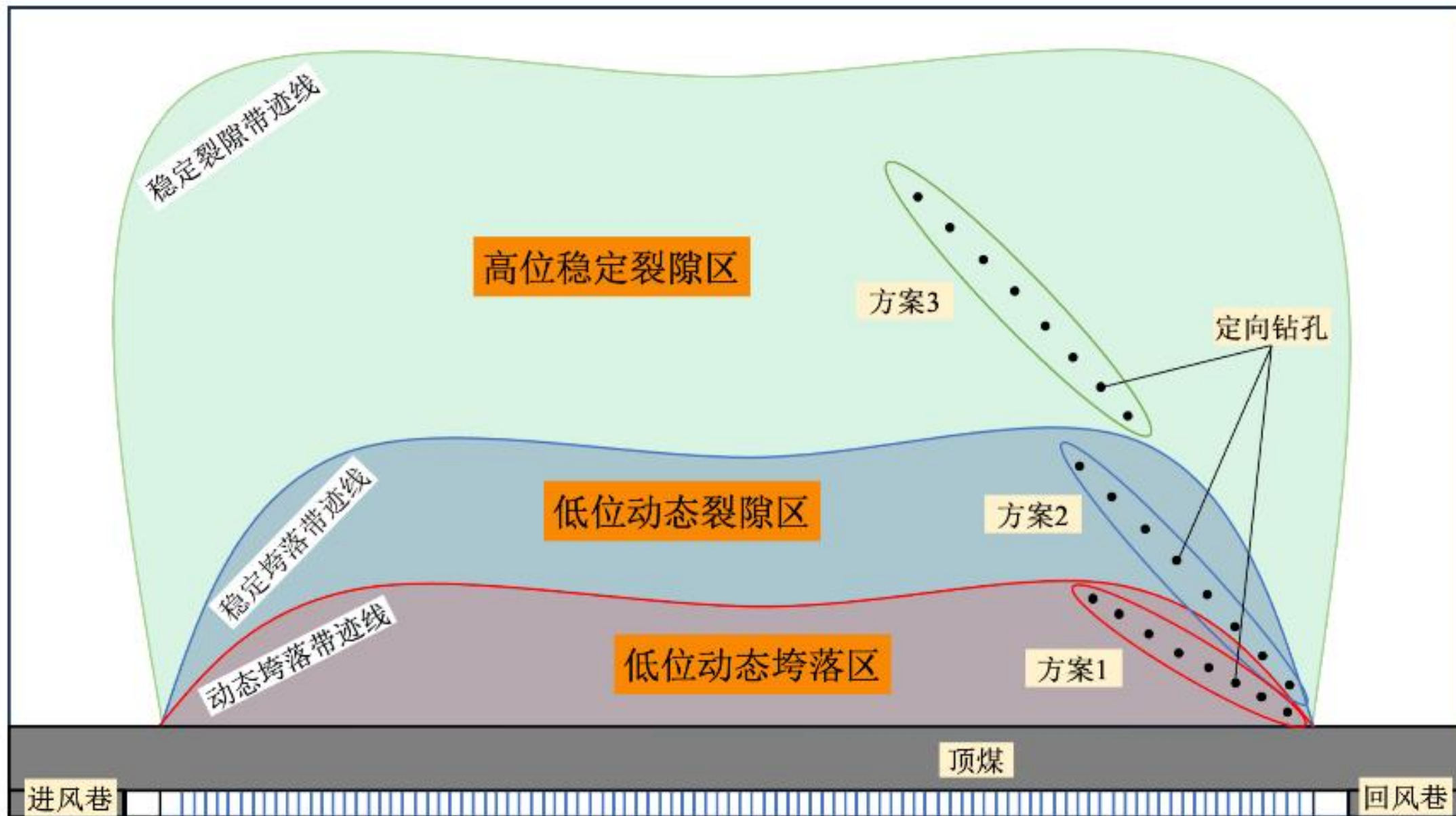
2.3 采中低位动态裂隙区精准卸压截抽技术

■ 中西部厚煤层多是单一煤层，控制采空区瓦斯防止上隅角超限是重点



打在哪？在哪抽？

2.3 采中低位动态裂隙区精准卸压截抽技术



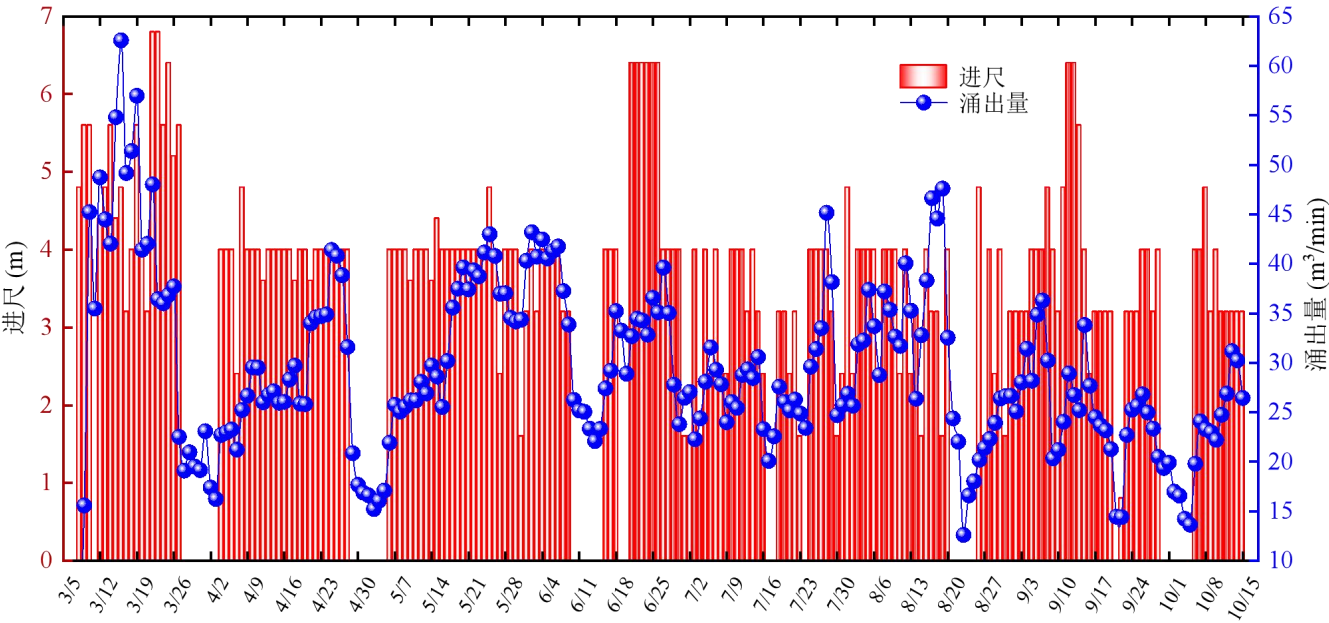
2.3 采中低位动态裂隙区精准卸压截抽技术



■ 采中低位动态裂隙区精准卸压截抽技术工程实践案例1

矿井位于黄陇侏罗纪煤田，工作面平均煤厚19.65m，工作面范围内煤层瓦斯含量为1.7177 ~ 3.1229m³/t，工作面正常回采期间瓦斯涌出量为14.42 ~ 62.57m³/min。

煤层		3#
煤层平均厚度		11.57m
瓦斯含量/(m³·t ⁻¹)		2.16 ~ 3.38
瓦斯吸附常数	a/(m³·t ⁻¹ ·r ⁻¹)	25.5225—29.6172
	b/MPa ⁻¹	0.8568—1.0933
工业分析	水分/%	7.37—10.19
	灰分/%	4.13—6.55
	挥发分/%	24.53—35.97
坚固性系数		0.59-1.10
瓦斯压力/MPa		0.06-0.40
煤的孔隙率/(m³·m ⁻³ , %)		6.62—8.61
煤层透气性系数/(m²·MPa ⁻² ·d ⁻¹)		0.0303—0.0425
钻孔自然瓦斯流量衰减系数/d ⁻¹		0.309 ~ 0.414



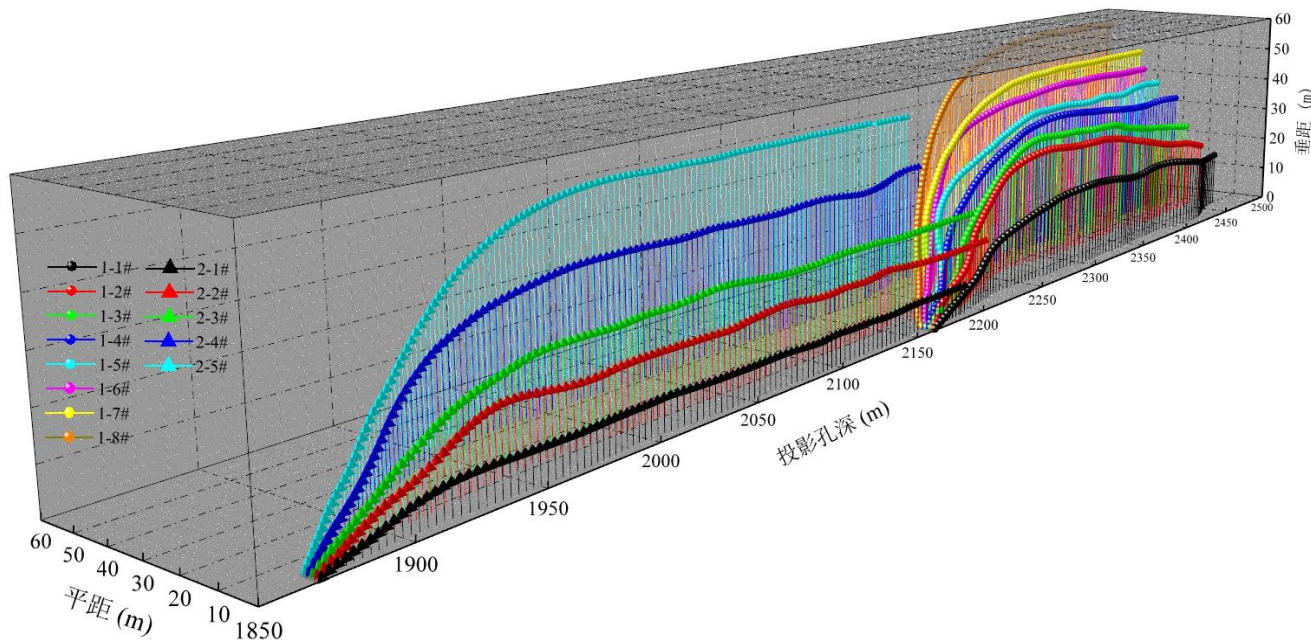
回采工作面日进尺与瓦斯涌出量

2.3 采中低位动态裂隙区精准卸压截抽技术

- **优化前：**1#定向钻场施工**8个孔径120mm**、孔深306 ~ 321m的定向钻孔，钻孔垂向高度距煤层顶板5 ~ 45m，平距采煤巷帮5 ~ 50m
- **优化后：**接续2#定向钻场内施工**5个孔径120mm**、孔深350 ~ 426m的定向钻孔，钻孔垂向高度距煤层顶板-5 ~ 31m，平距采煤巷帮2 ~ 42m

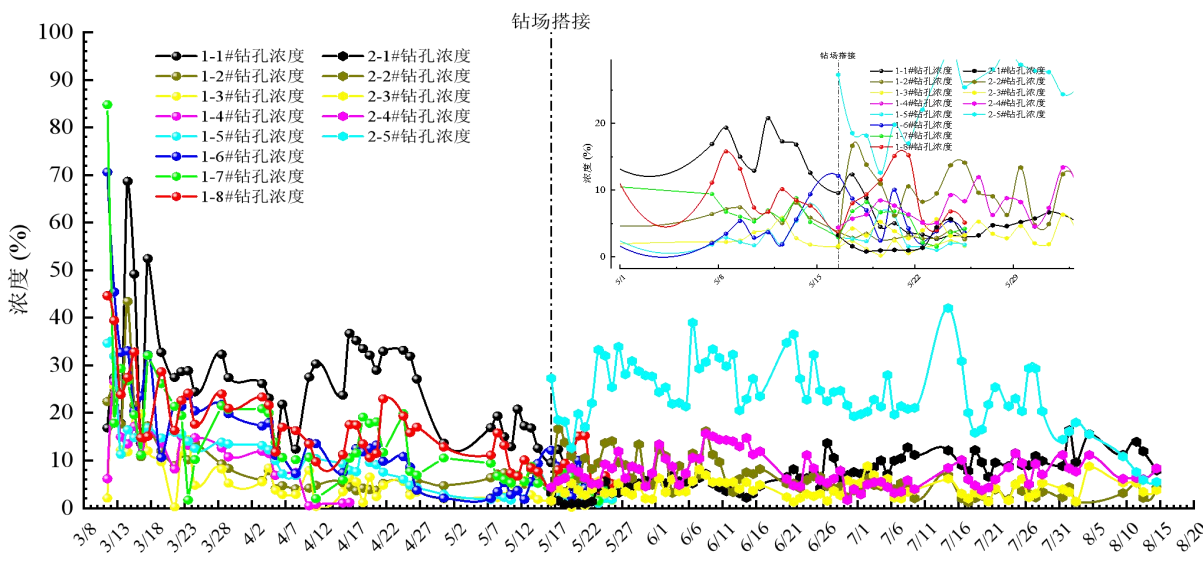
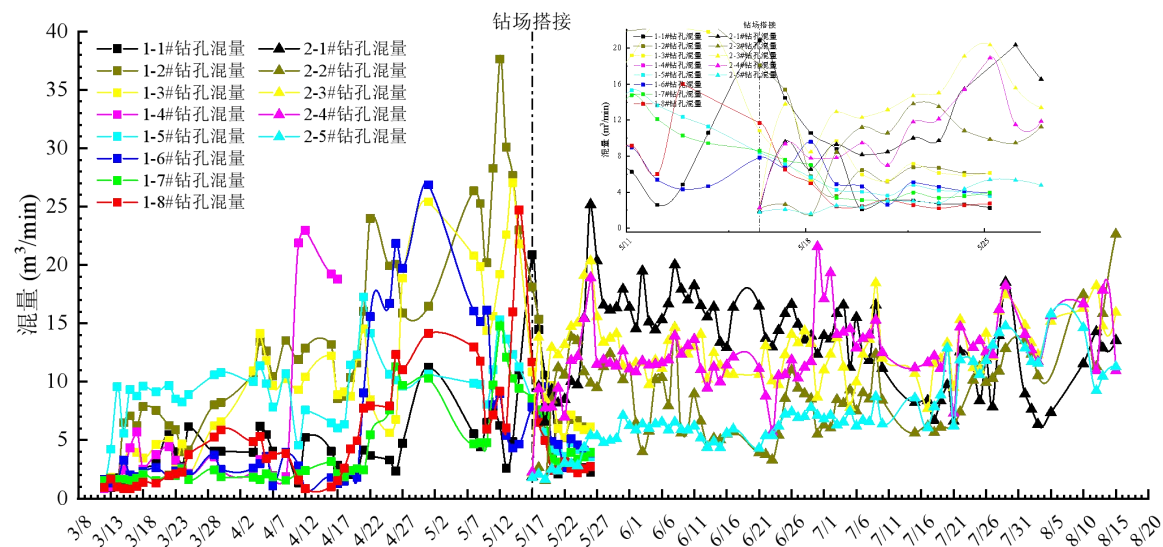
钻孔编号	开孔磁方位角 (°)	倾角 (°)	孔径(mm)	孔深(m)	距煤层顶板 (m)	距材料顺槽 (m)
1-1#	267	13	120	306	5	5
1-2#	262	13	120	312	10	15
1-3#	260	13	120	312	15	20
1-4#	258	13	120	312	20	25
1-5#	255	13	120	312	25	30
1-6#	252	13	120	315	30	35
1-7#	250	13	120	318	35	40
1-8#	248	13	120	321	45	50

钻孔编号	开孔磁方位角 (°)	倾角 (°)	孔径(mm)	孔深(m)	距煤层顶板 (m)	距材料顺槽 (m)
2-1#	267	9	120	350	-5	2
2-2#	264	10	120	360	2	10
2-3#	260	10	120	390	7	18
2-4#	253	11	120	410	17	30
2-5#	249	12	120	426	31	42

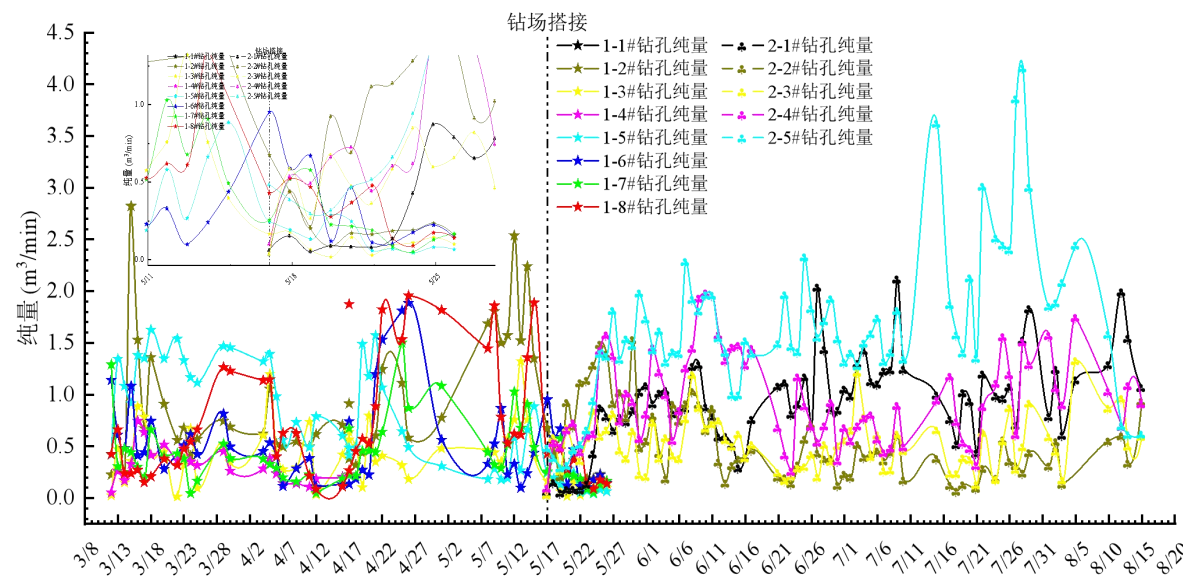


工作面定向钻孔三维实钻图

2.3 采中低位动态裂隙区精准卸压截抽技术



- 优化调整后，单孔抽采量提升（1#钻场平均抽采纯量 $0.37875\text{m}^3/\text{min}$ ，2#钻场平均抽采纯量 $0.9112\text{m}^3/\text{min}$ ），平均单孔抽采纯量提升140%
- 工作面瓦斯风排瓦斯量及其占比在总瓦斯涌出量升高前双双下降（由29.47%下降至25.39%）



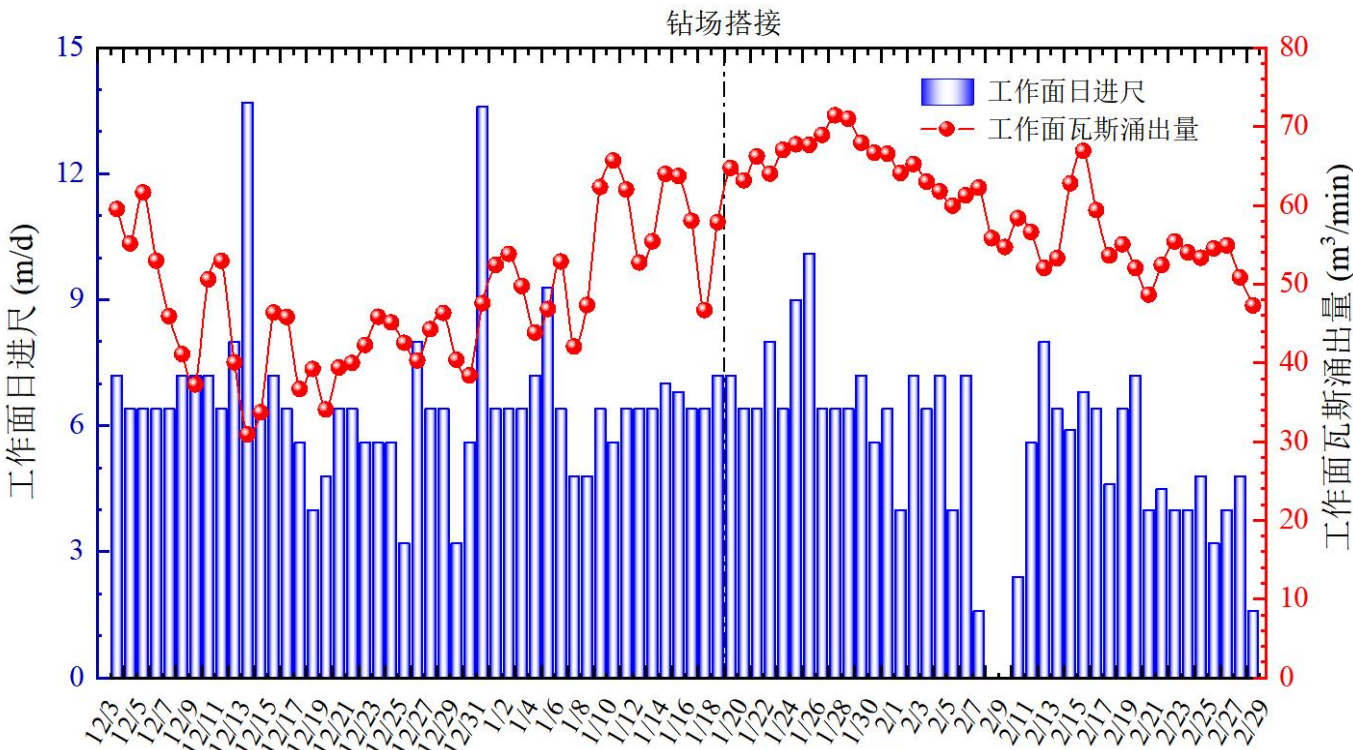
2.3 采中低位动态裂隙区精准卸压截抽技术



■ 采中低位动态裂隙区精准卸压截抽技术工程实践案例2

矿井位于河东煤田离柳矿区，主采煤层平均厚度12.02m，工作面范围内煤层瓦斯含量为2.4083 ~ 2.9933m³/t，工作面正常回采期间瓦斯涌出量为30.91 ~ 71.42m³/min。

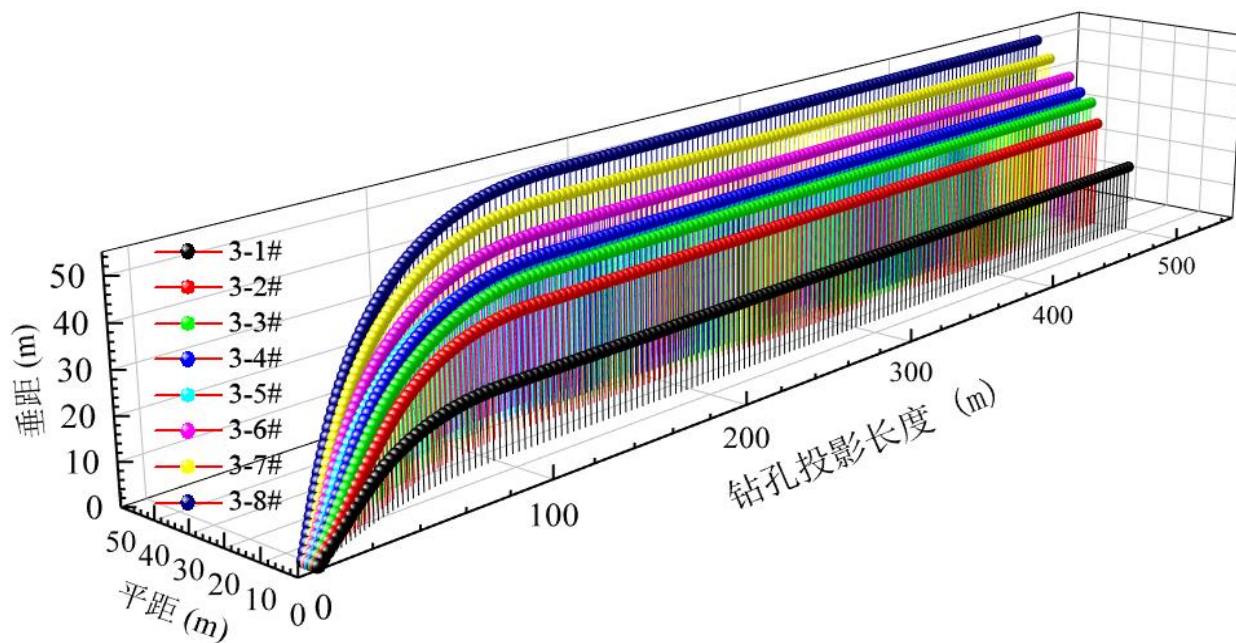
煤层		13#
煤层平均厚度		12.02m
瓦斯含量/(m ³ ·t ⁻¹)		2.4083 ~ 2.9933
瓦斯吸附常数	a/(m ³ ·t ⁻¹ ·r ⁻¹)	20.501
	b/MPa ⁻¹	0.482
工业分析	水分/%	2.68
	灰分/%	29.40
	挥发分/%	38.24
坚固性系数		0.83
瓦斯压力/MPa		0.03 ~ 0.12
煤的孔隙率/(m ³ ·m ⁻³ , %)		3.82
煤层透气性系数/(m ² ·MP _a ⁻² ·d ⁻¹)		22.73
钻孔自然瓦斯流量衰减系数/d ⁻¹		0.264



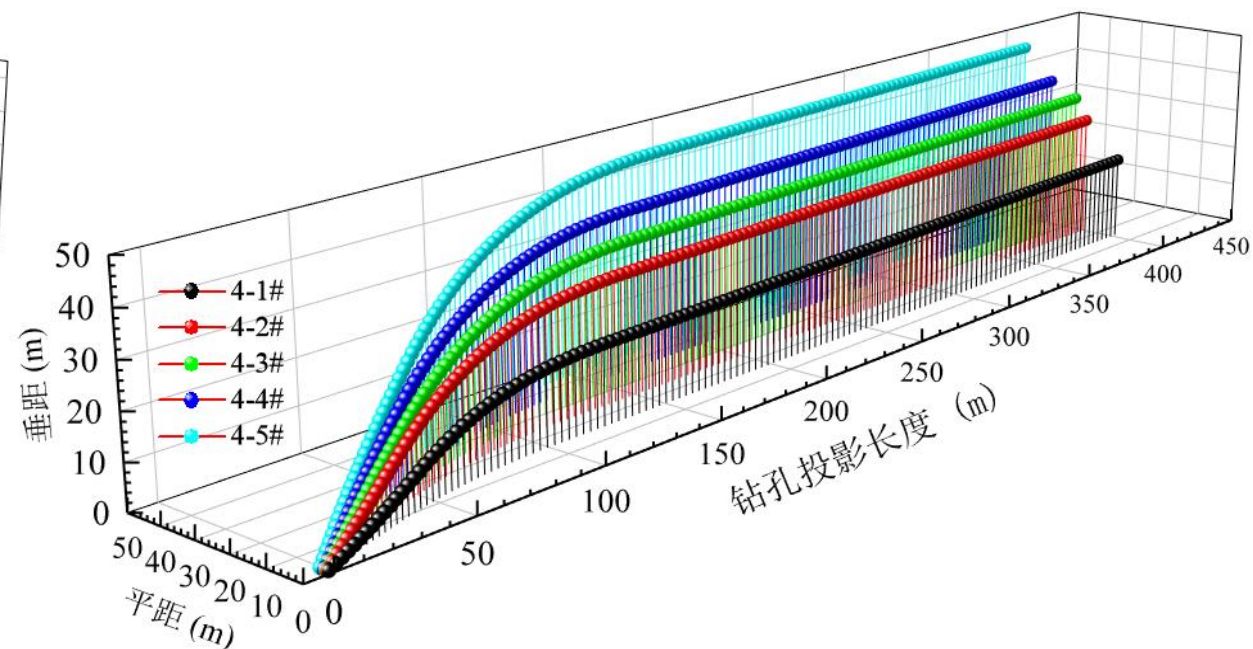
回采工作面日进尺和瓦斯涌出量

2.3 采中低位动态裂隙区精准卸压截抽技术

- **优化前：**3#定向钻场施工**8个孔径120mm**、孔深500m的定向钻孔，钻孔垂向高度距煤层顶板18~51m，平距采煤巷帮15~45m
- **优化后：**接续4#定向钻场内施工**5个孔径120mm**、孔深400m的定向钻孔，钻孔垂向高度距煤层顶板11~42m，平距采煤巷帮15~44m



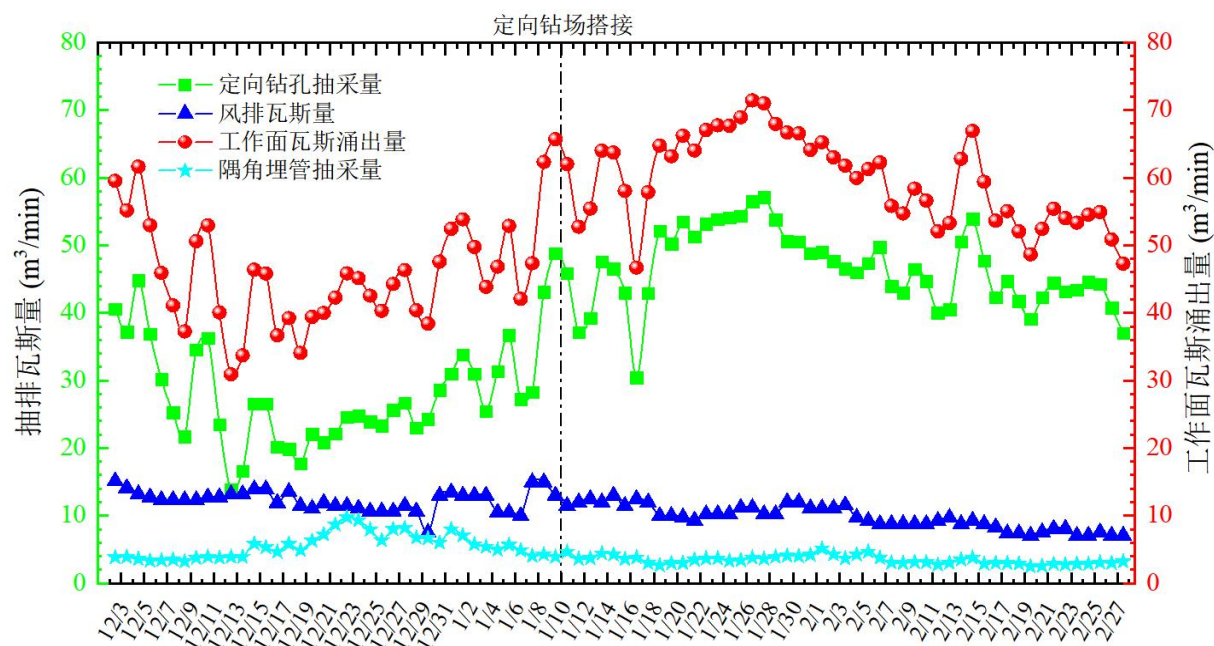
3#定向钻场钻孔三维设计图



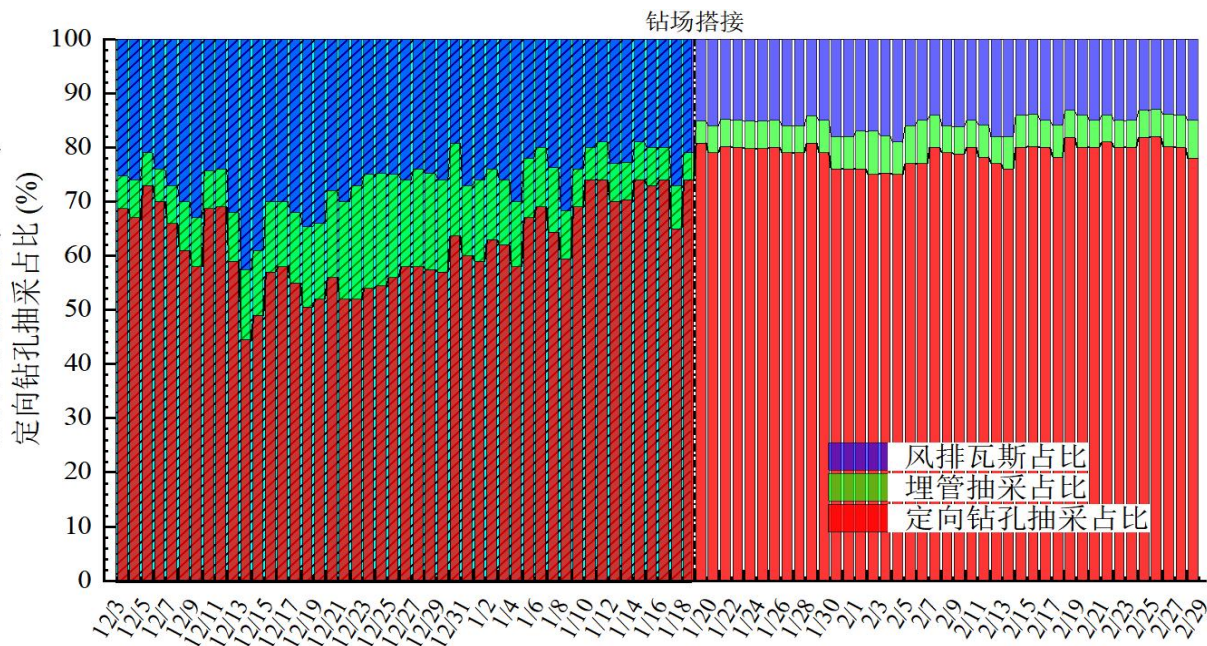
4#定向钻场钻孔三维设计图

2.3 采中低位动态裂隙区精准卸压截抽技术

- 在**工作面瓦斯涌出量增加**情况下，优化定向钻孔参数且缩减定向钻孔数后，定向钻孔抽采量提升，3#钻场平均抽采纯量 $30.18\text{m}^3/\text{min}$ ，4#钻场平均抽采纯量 $47.31\text{m}^3/\text{min}$ ，**抽采纯量提升56.8%**
- **风排瓦斯量及其占比在瓦斯涌出量增加情况下降低**，3#定向钻场覆盖区段风排瓦斯量 $12.26\text{m}^3/\text{min}$ ，风排瓦斯占比26.4%，4#定向钻场覆盖区段风排瓦斯量 $9.33\text{m}^3/\text{min}$ ，风排瓦斯占比15.5%

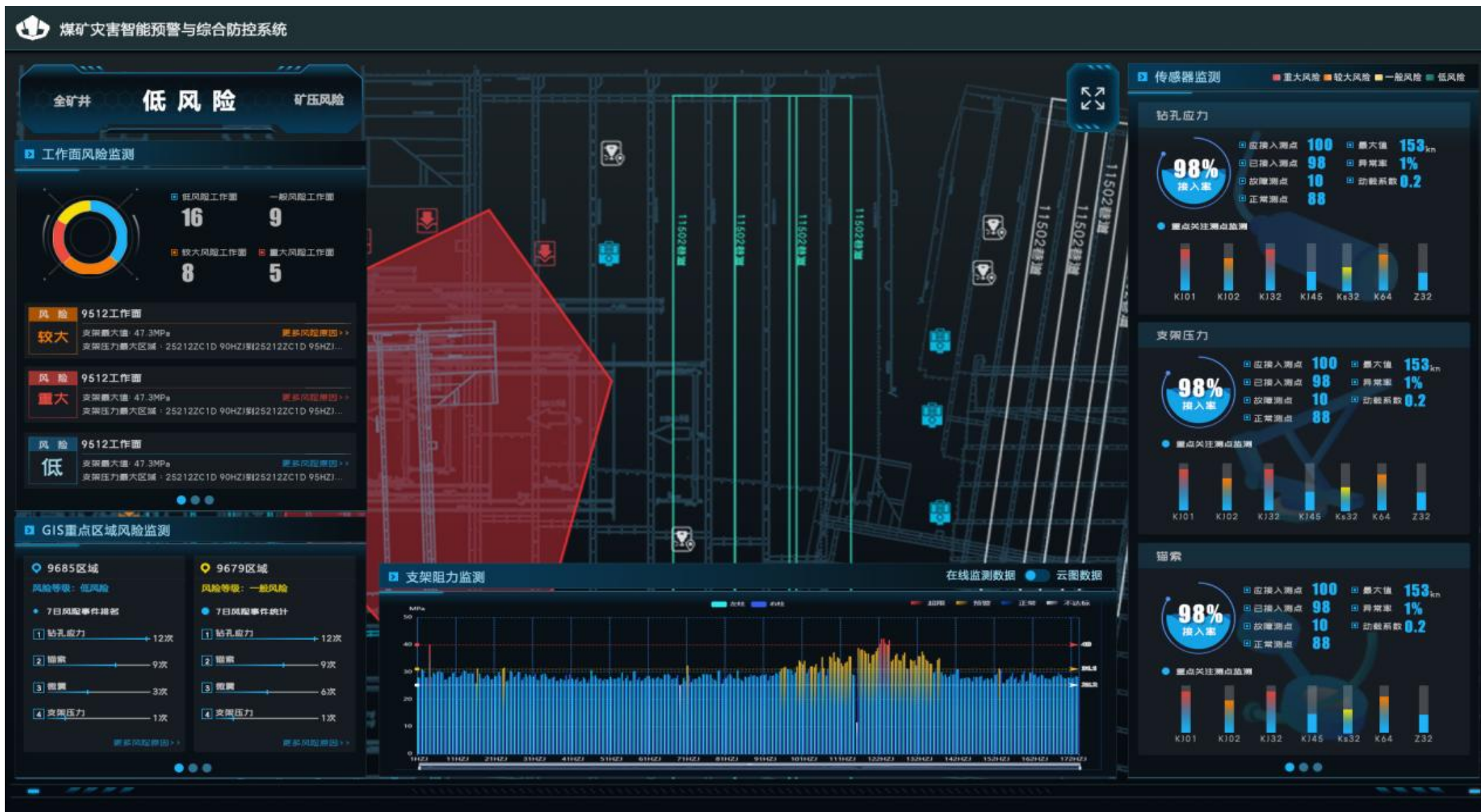


3-4#定向钻场覆盖区段工作面瓦斯抽排量曲线

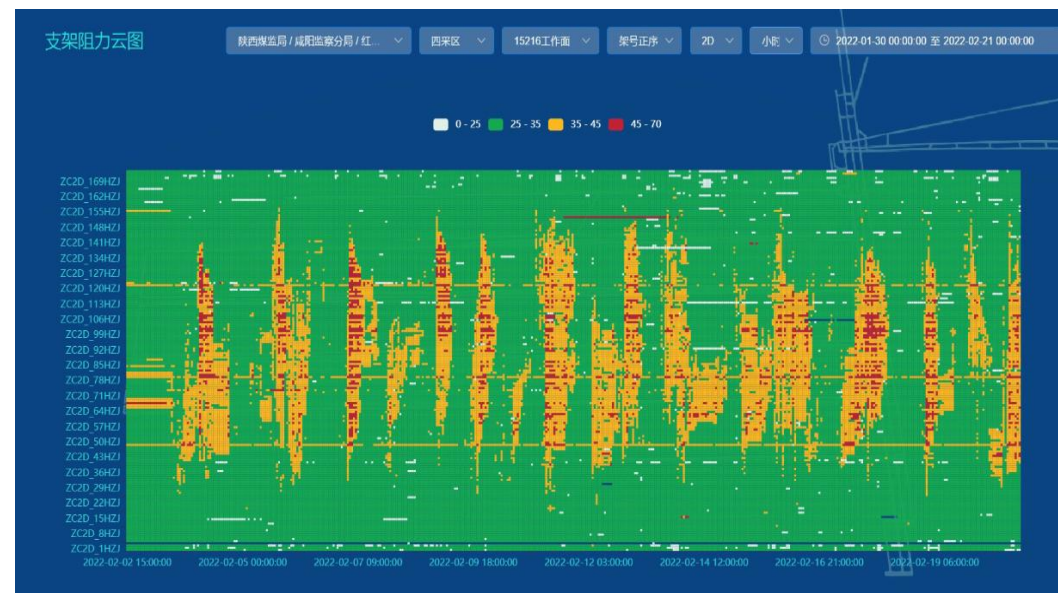
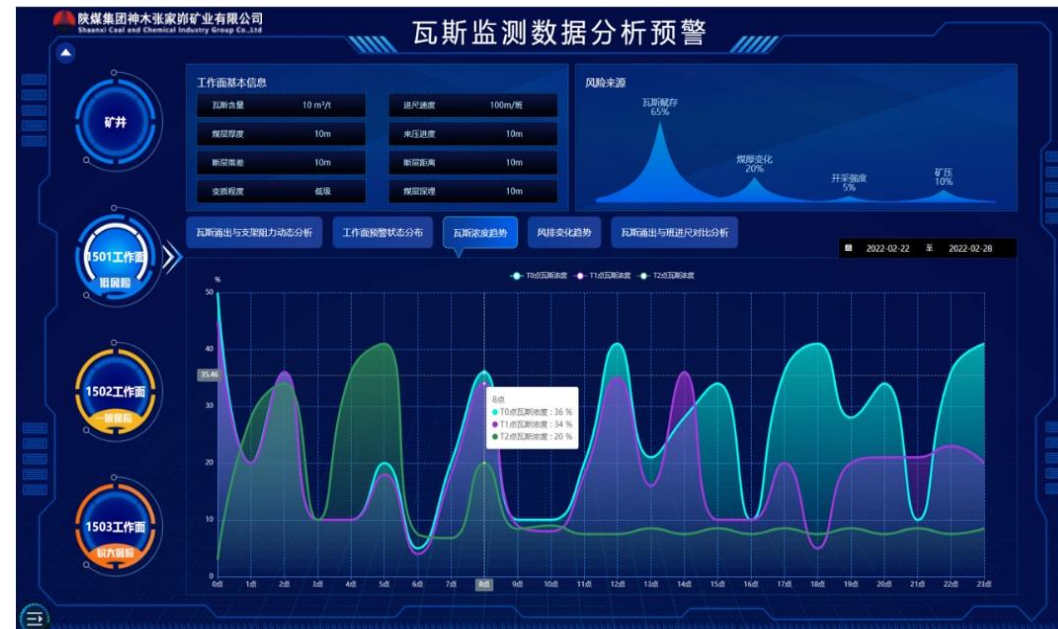


3-4#定向钻场覆盖区段工作面瓦斯抽排占比

中国煤科
CCTEG



中国煤科
CCTEG



2.4 工作面生产全过程智能预警与控风技术

基于不同时间窗、测点位置、设备类型数据，分析瓦斯涌出动态特征，挖掘监测数据**突变、缓变、波动、恒定、周期性变化**等数理统计特征，建立基于安全监控数据的采掘工作面多因素融合的分级预测、预警模型，结合**工作面来压、采掘等对瓦斯涌出影响**，实现**工作面瓦斯异常自动筛选、锁定、回溯分析及智能预测预警**，并基于监测工作面瓦斯涌出数据和工作面基础参数，进行**风量、风速智能分析、计算**，为工作面调风提供支撑。

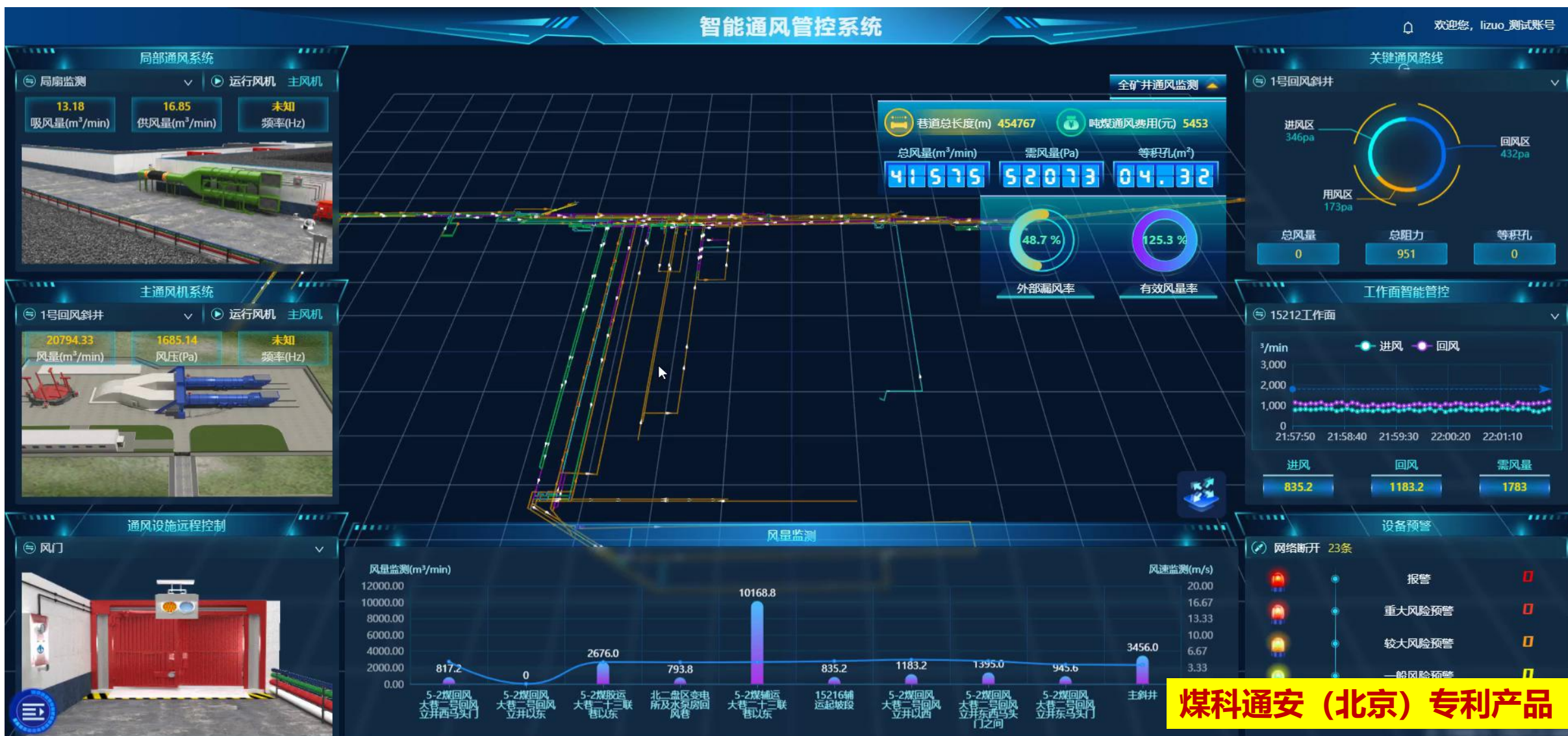


煤科通安（北京）专利产品



形成3项原始创新、4项应用集成创新,构建了成套的控风技术装备体系

2.4 工作面生产全过程智能预警与控风技术



3

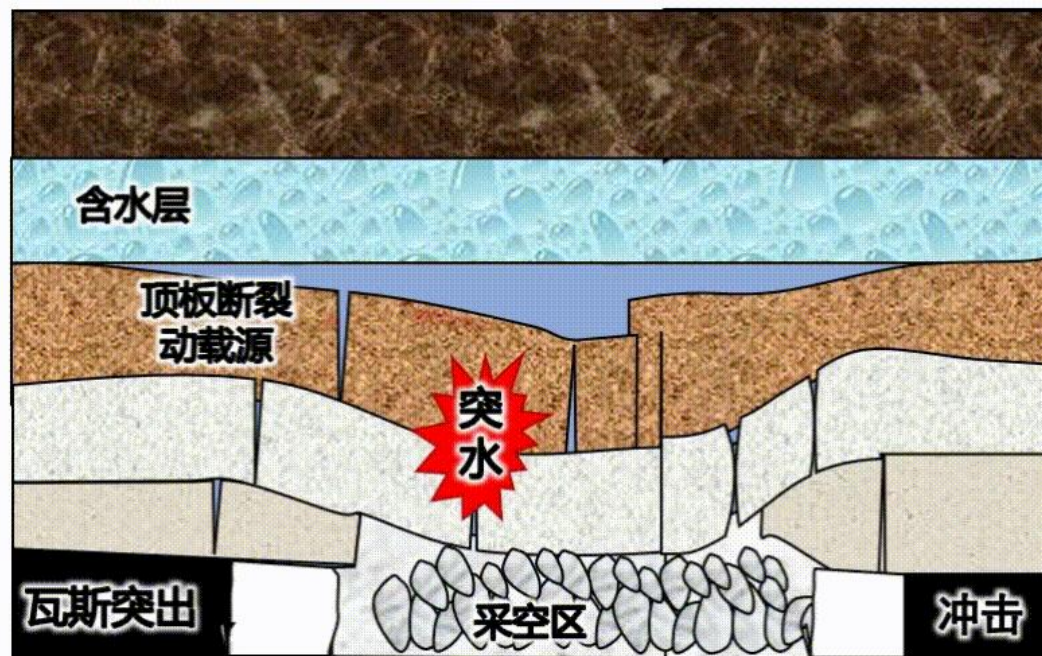
复合动力灾害如何协同防控？

3.1 深部开采复合动力灾害显现与现实问题

- 深部复杂环境导致单一灾害危险加剧，多灾并存问题突显，灾害防控难度陡增
- 深部**高应力、高瓦斯、高水压、低渗透、强扰动**（“三高一低一动”）环境复杂
- 瓦斯、冲击地压、水灾等单一灾害愈加严重，**多灾并存或复合加剧了灾害治理难度**



全国多灾并存矿井分布 (数据来自国家矿山局)



深部开采多灾害叠加共存特点

多灾耦合、链生等叠加作用下灾害必须超前协同防控

3.1 深部开采复合动力灾害显现与现实问题

西部矿区深部多灾并存问题严重

- 黄陇大型煤炭基地、煤炭资源丰富
- 黄陇侏罗纪煤田煤层厚、埋深较大
- 顶板有巨厚砂砾岩、水文条件复杂
- 冲击地压、高瓦斯、治理综合性强

储量：150亿t
产能：4.6%



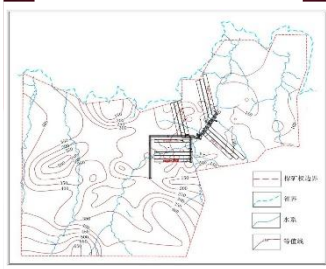
永陇矿区主要灾害特征

离层水害

时有发生
来势凶猛
突发性强
伴随其他灾害

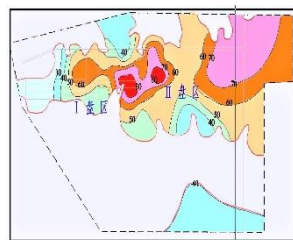
离层水害新的难题
突水量:3000m³/h

冲击地压



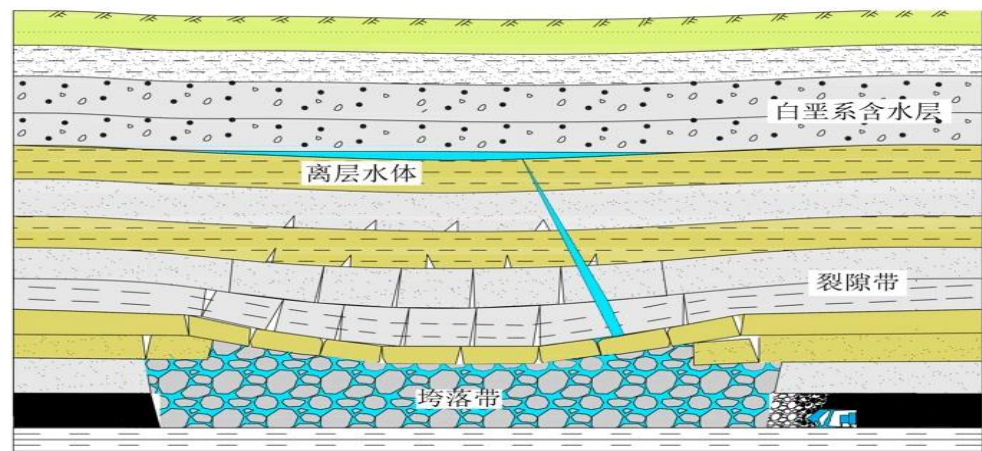
弱~中等

高瓦斯



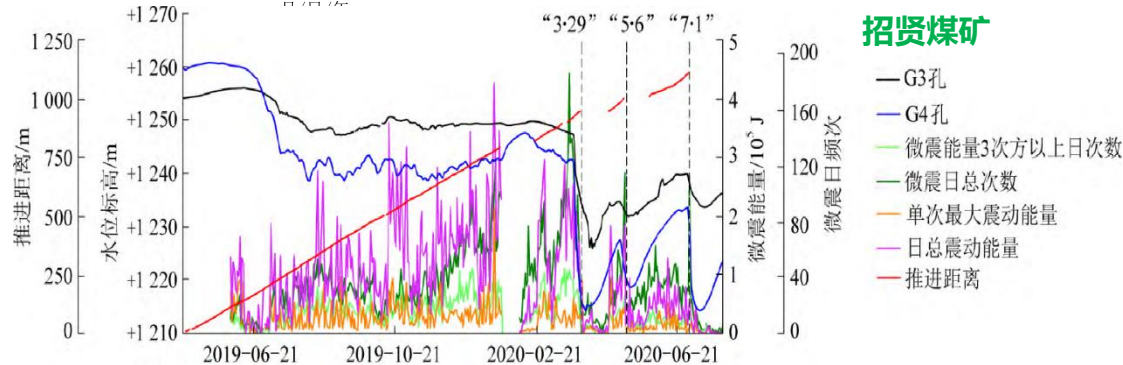
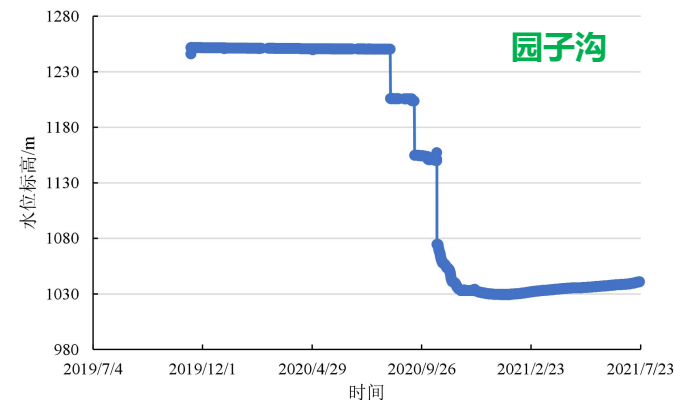
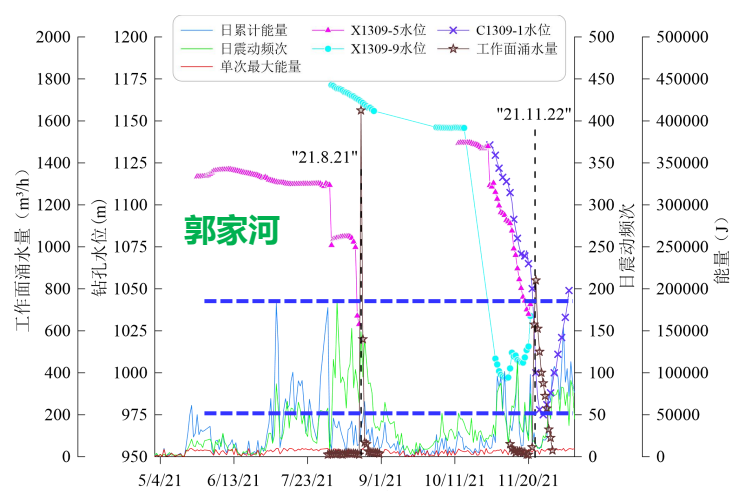
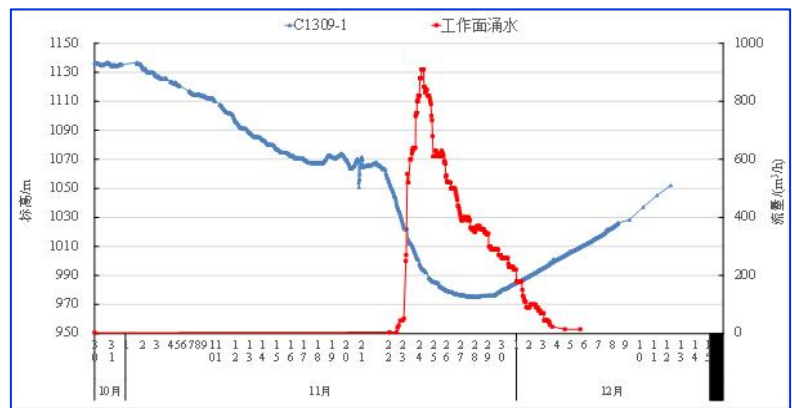
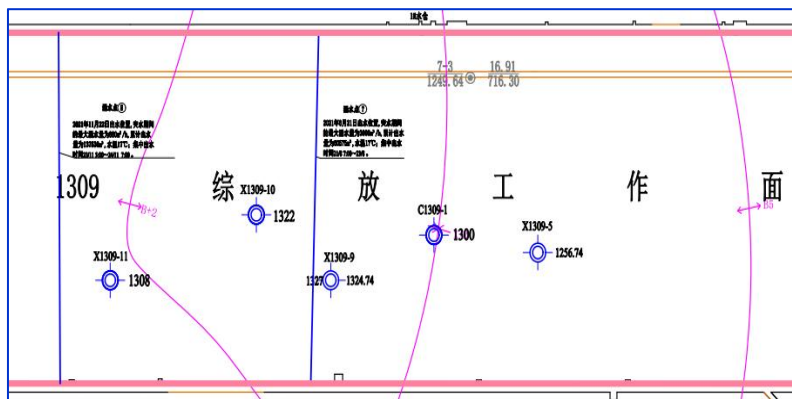
相对涌出量3m³/t
绝对涌出量30m³/min

离层水害形成



3.1 深部开采复合动力灾害显现与现实问题

- 厚煤层综放开采覆岩破断运动程度剧烈，**顶板水害、矿压、瓦斯等问题显著**。在以往的开采过程中发生过多次顶板离层突水灾害，巷道变形严重，伴随着压架、采空区瓦斯异常增大等多种灾害显现。
- 灾害发生前后“含水层水位-微震能量-支架阻力-瓦斯涌出量”等均发生明显的变化，也直接反映了**只有从整体性、系统性出发，进行复合灾害综合防控，才能从根本上更加有效防范灾害的发生。**



3.1 深部开采复合动力灾害显现与现实问题

□ 中东部矿区深部高应力高瓦斯复合灾害严重

深部开采环境表现为高地应力、高瓦斯压力、高渗透压、高地温和强扰动特点，面临突出、冲击、巷道大变形等问题。如某煤矿埋深600~800m，瓦斯压力高达2~3MPa，打钻过程有喷孔等动力现象表明具备突出风险。新采区独头掘进巷道瞬间大变形、锚杆折断等现象表明矿压问题严重。



现场剧烈喷孔现象



没有大面积采动条件下巷道大变形严重

3.1 深部开采复合动力灾害显现与现实问题

□ 中东部矿区深部高应力高瓦斯复合灾害严重

深部开采环境表现为高地应力、高瓦斯压力、高渗透压、高地温和强扰动特点，面临突出、冲击、巷道大变形等问题。如某煤矿埋深600~800m，瓦斯压力高达2~3MPa，打钻过程有喷孔等动力现象表明具备突出风险。新采区独头掘进巷道瞬间大变形、锚杆折断等现象表明矿压问题严重。



现场剧烈喷孔现象



实验室瓦斯压力为0

3.1 深部开采复合动力灾害显现与现实问题

陕西：陇东、麟游、彬长矿区

徐矿郭家河、铜川下石节、玉华、柴家沟煤矿

内蒙古：呼吉尔特、乌海矿区

不连沟煤矿、巴彦高勒煤矿、公务素煤矿

瓦斯+水害+顶板

西部——链生为主

- ① 高瓦斯、复杂水文地质、冲击地压**灾害耦合严重**，制约生产
- ② 水害、冲击地压**监测手段有限、准确度低**，微震、应力等系统并实现多灾同时监测，**数据分析深度不够**，顶底板高承压水时空预测方法尚不完善
- ③ 井上下联合抽排后工作面仍发生突水，防治过程管控不到位。

两淮：淮南、淮北、皖北等

山西：晋城、吕梁、阳泉矿区

赵庄煤矿、高平煤矿、五阳煤矿、宏吉煤矿...

瓦斯+顶板/冲击地压

深部——耦合为主

- ① 深埋高瓦斯煤层、复合坚硬顶板、厚煤层、高强度开采，**瓦斯-强矿压复合动力显现频发**
- ② 监测系统无法捕捉强矿压显现前后采场应力的变化
- ③ **瓦斯涌出与矿压显现具有高度相关性，但数据融合分析不足**
- ④ 灾害相关的地理信息分析不足，过多依靠技术人员经验

国家矿山安全监察局、各省局

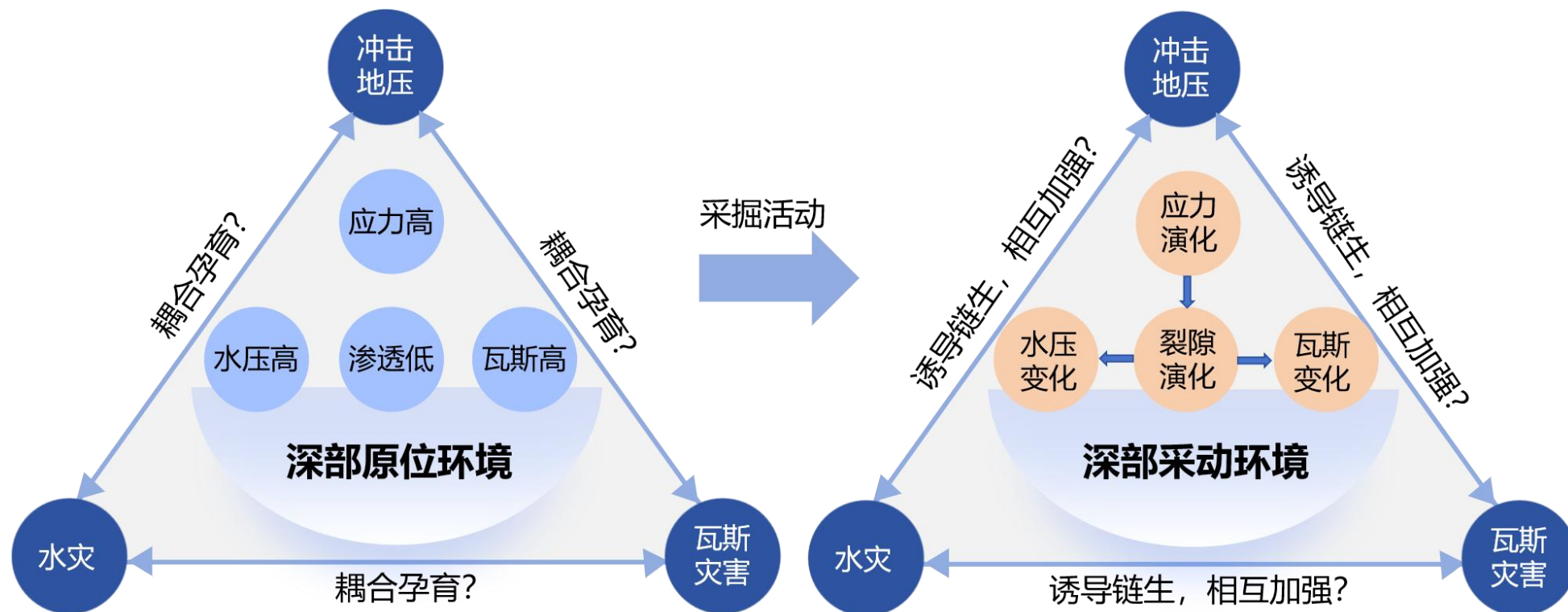
智能化示范矿井--灾害防治系统--建设矿井

智能化

- ① 多灾数据融合分析不足，仅考虑本系统分析、利用
- ② 功能需求分析不足，未实现模块化、根据**场景灵活配置**
- ③ 各灾害数据可视化不同，灾害预警结果展示缺乏统一的载体
- ④ 未实现**一矿一模型的预警体系**，缺少预警指标库、模型库

3.1 深部开采复合动力灾害显现与现实问题

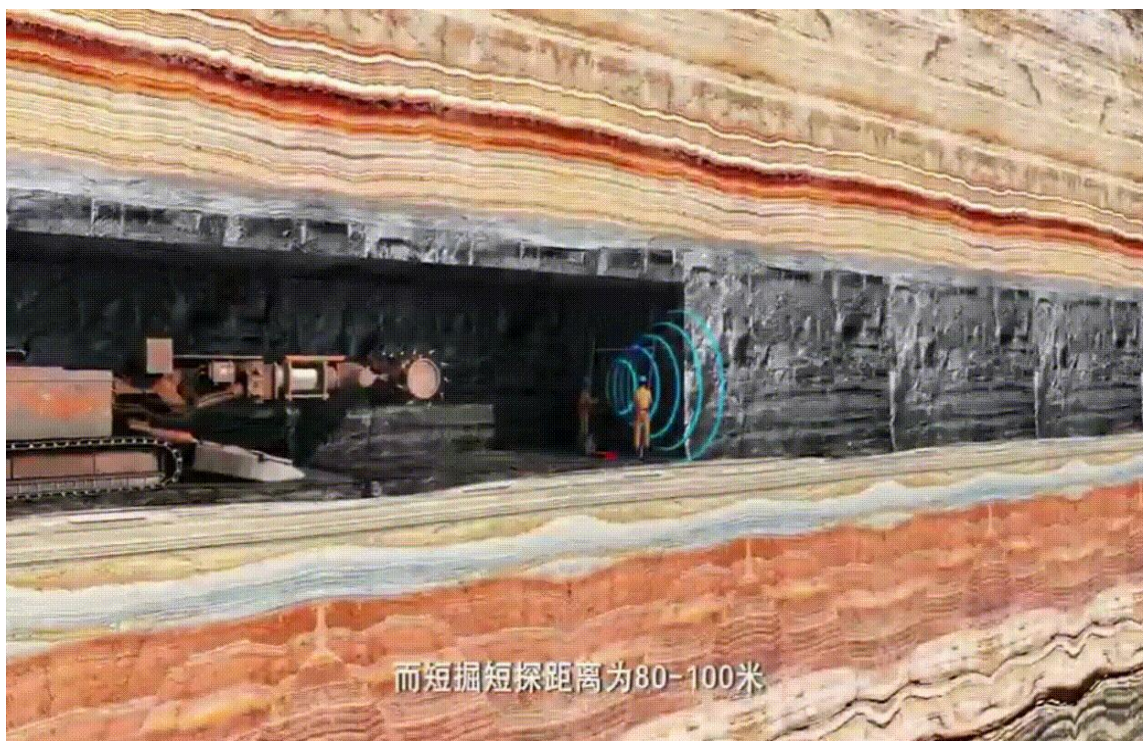
- 问题一：灾害耦合与链生致灾机制不明，超前协同防控缺乏理论指导
- 深部“三高一低一动”条件下，不同灾害**致灾因子时空演化、响应规律不清**
- **多灾害耦合孕育、诱导链生且相互加强**，耦合与链生致灾机制极其复杂



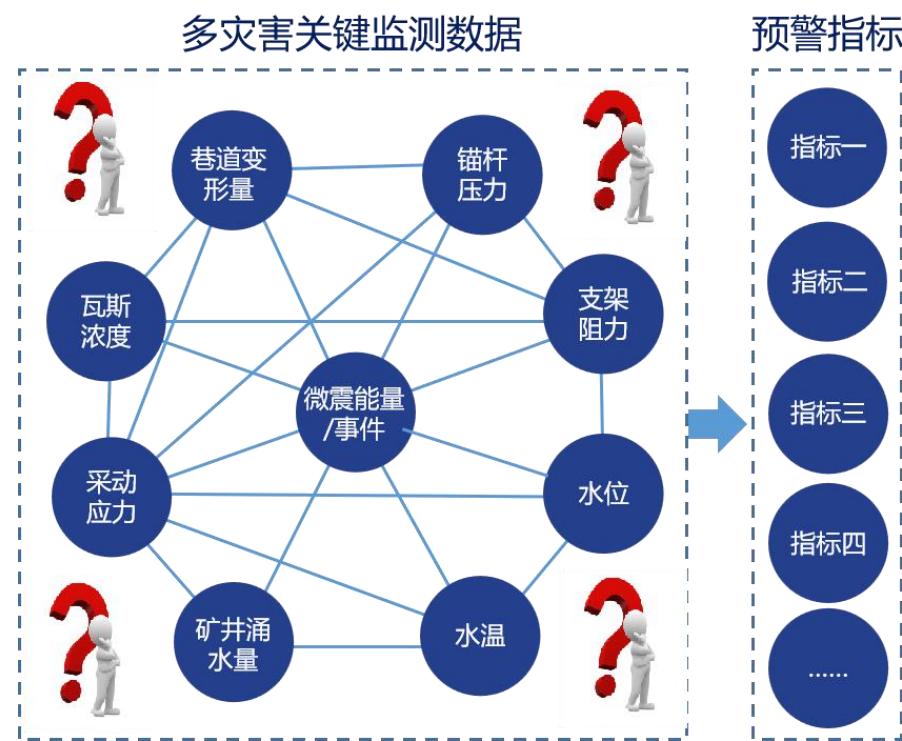
煤矿深部多灾害耦合与链生机制复杂

3.1 深部开采复合动力灾害显现与现实问题

- **问题二：灾害风险区超前表征不清，监测数据与预警结果不准**
- 传统矿井物探易受井下巷道环境干扰，钻探**探测有效范围和探测效率有限**
- 多灾害多元数据集成环节多、时效性差，预警**关键共性前兆信息挖掘利用不足**



常规探测技术探测有效范围和探测效率有限

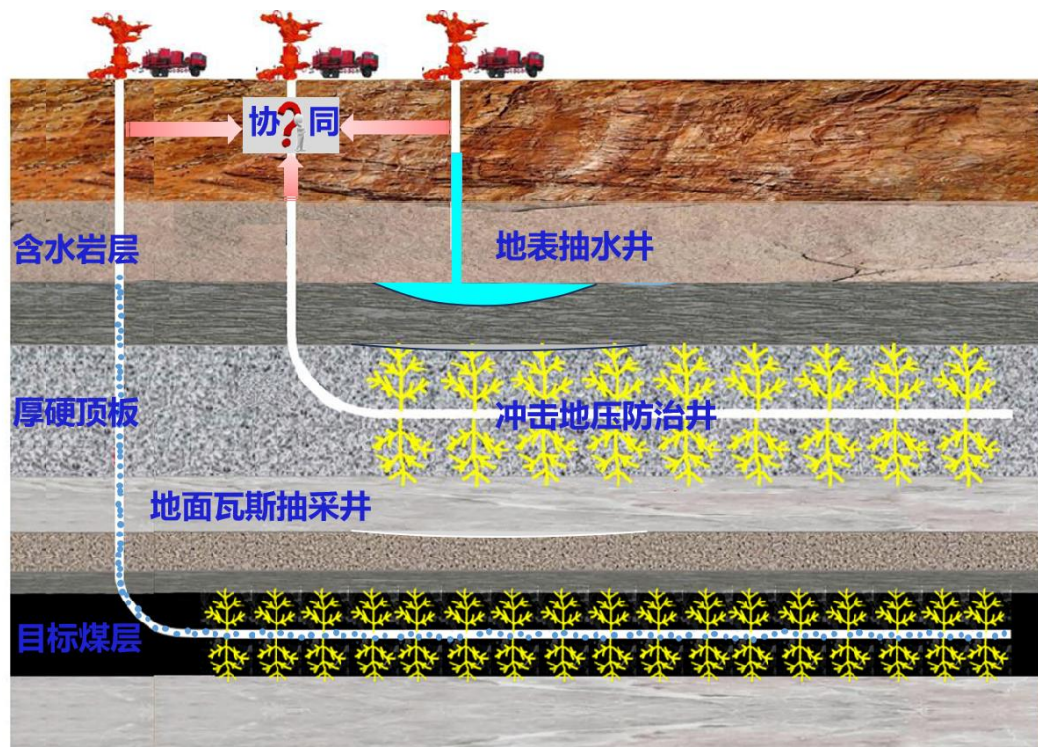


煤矿多灾害监测数据融合分析不足

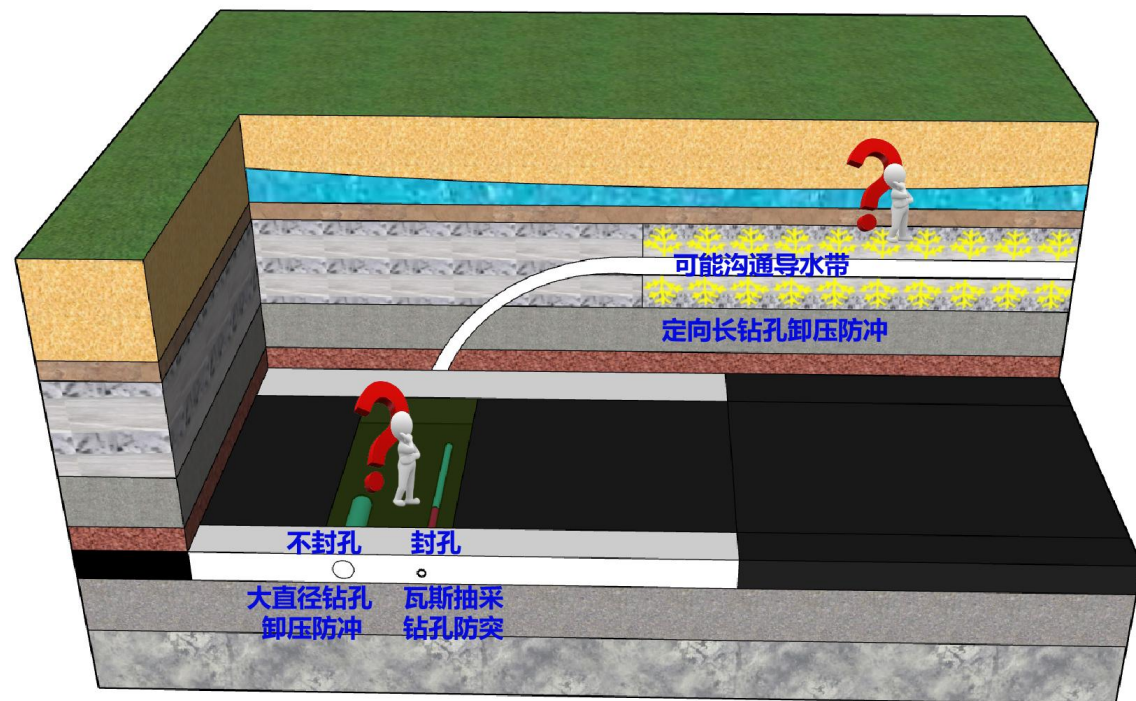
3.1 深部开采复合动力灾害显现与现实问题

■ 问题三：多灾害超前协同防控缺乏技术工艺与装备支撑

- 瓦斯、冲击地压、水灾防控工程设计与施工**各自独立**，协同防控不足
- 不同灾害防控工程**时空交织**，**重复工程量**大，甚至**相互制约**、**互相影响**



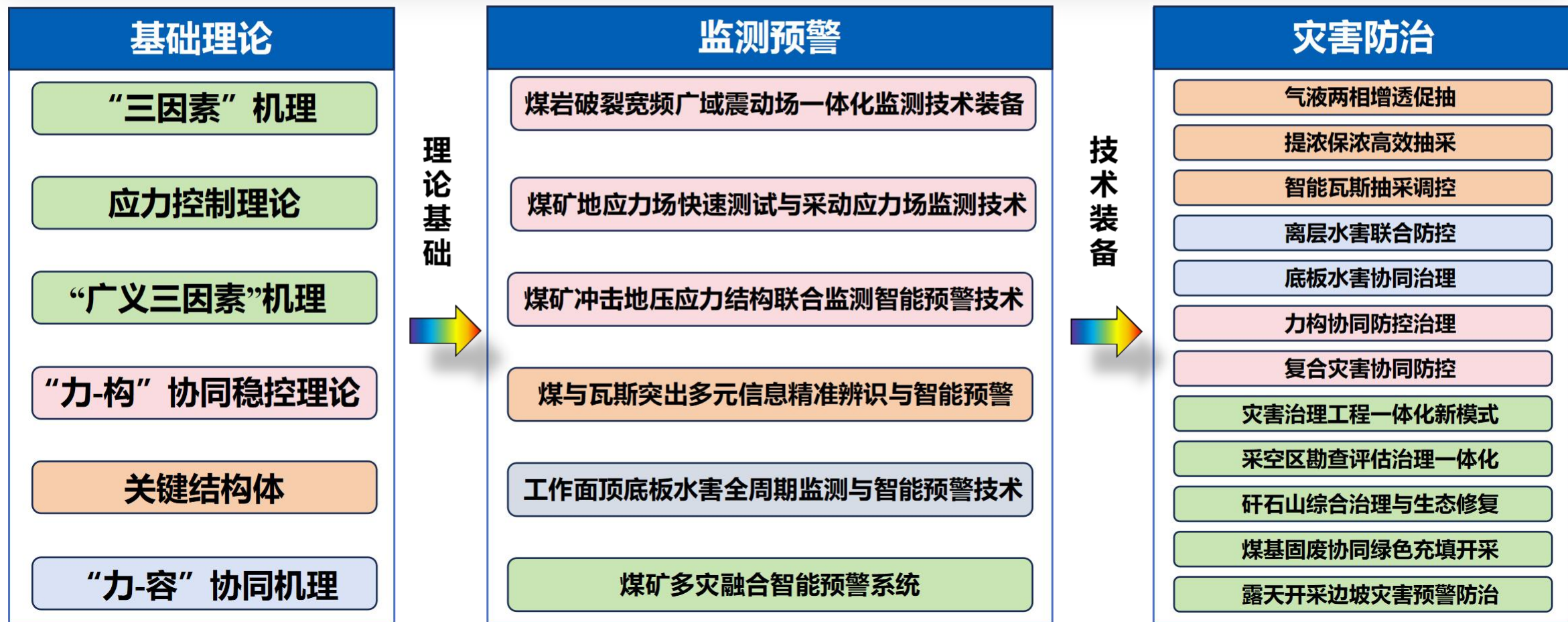
不同灾害地面井防控施工各自独立



不同灾害井下钻孔防控工艺相互影响示意图

3.2 深部开采复合动力灾害防控技术创新

聚焦煤矿瓦斯、水、冲击地压多灾融合防治，在灾害发生与防控基础理论、灾害监测与智能预警、灾害综合防控与协同治理方面，形成了一批具有自身特色的核心技术。



3.2 深部开采复合动力灾害防控技术创新

应用于冲击地压、煤与瓦斯突出危险智能检测

- 国标GB/T 25217.6-2019 钻屑监测方法起草单位
- 可实现钻进、采集、称量、预警“一键”式检测
- 国内首台套 并 唯一取得煤安标单位
- 应用于山能集团、国能集团、龙煤集团



国内首创！中国煤科煤科院煤矿用钻屑法检测系统装备研发取得新突破

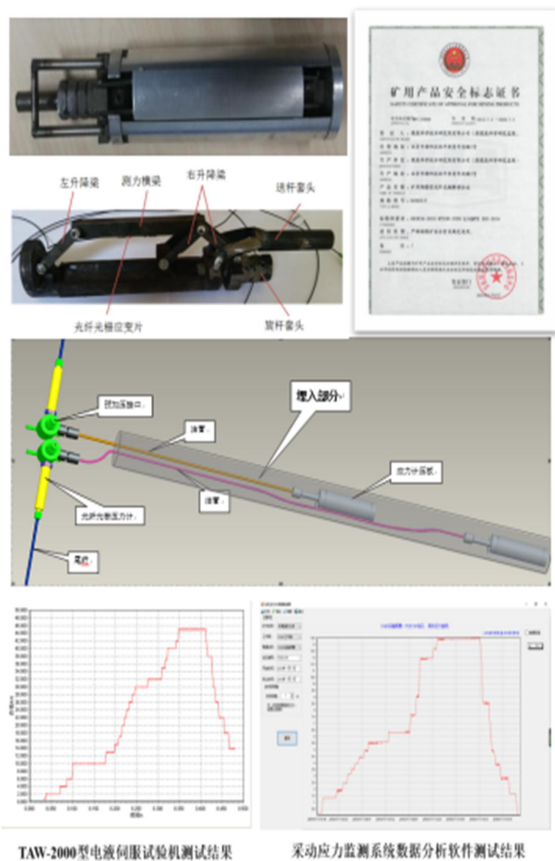
来源:工人日报客户端

18小时前

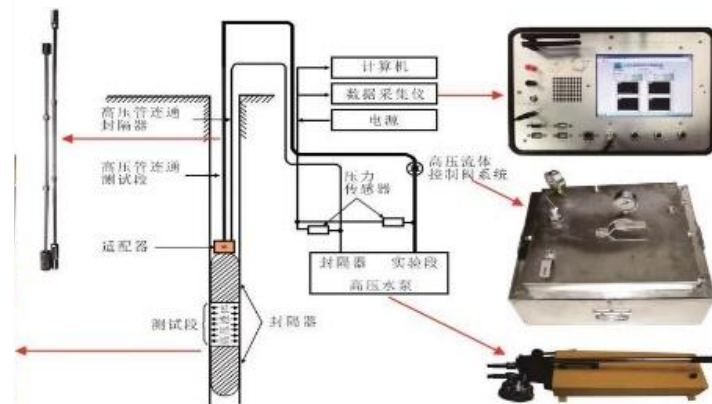
近日，由中国煤科煤科院自主研发的煤矿用钻屑法智能检测系统装备在内蒙古巴彦高勒煤矿顺利完成试验。标志着我国煤矿井下钻屑法检测危险判识与动态预警首次实现了智能化转型，为我国煤矿冲击地压、煤与瓦斯突出等高风险矿井，识别潜在危险提供了有力的技术装备支撑。

3.2 深部开采复合动力灾害防控技术创新

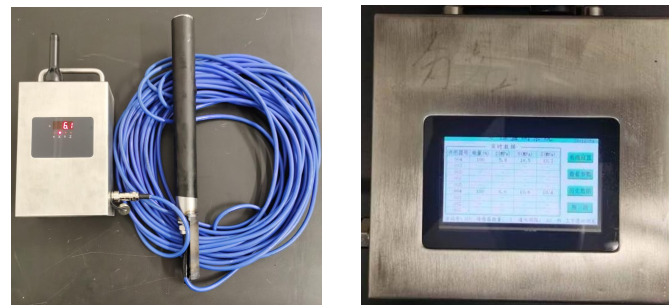
煤矿地应力测试装备与三维采动应力反演技术



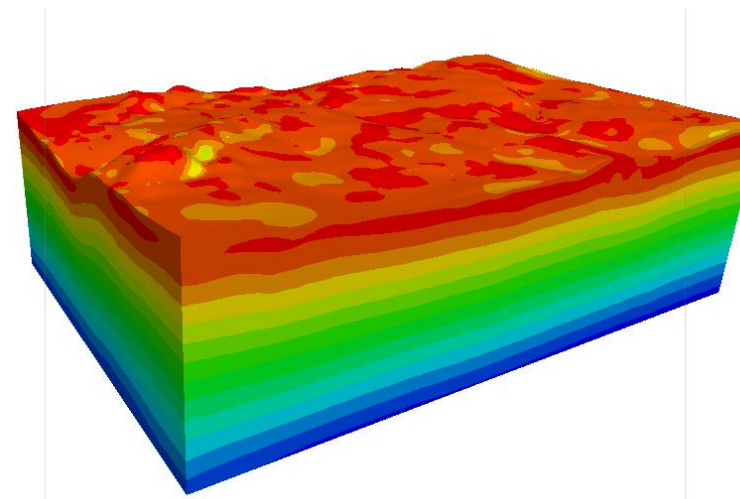
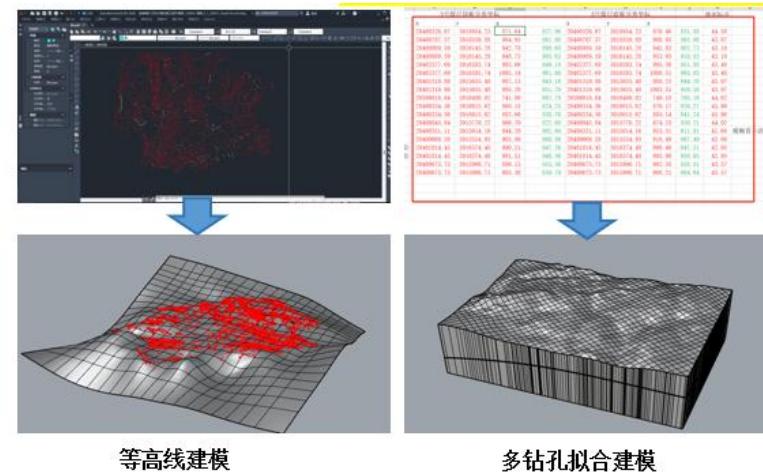
一孔多点监测装置



小孔径水压致裂装备



三向应力原位监测装置



三维应力场反演

3.2 深部开采复合动力灾害防控技术创新

煤岩破裂震动场一体化监测技术与装备

- 研发了井下、孔间和地面震动监测装备，形成煤岩破裂宽频广域一体化震动场监测系统
- 研发了人工可控自激震源，突破了传统微震系统被动接收信号、定位传播速度固定的局限

KJ768自震式微震监测系统



井上下联合微震矿震一体化监测



短周期密集台阵

1.地面短周期密集台阵，优化台网空间结构；

2.井下、钻孔微震监测系统，监测近场震动事件；



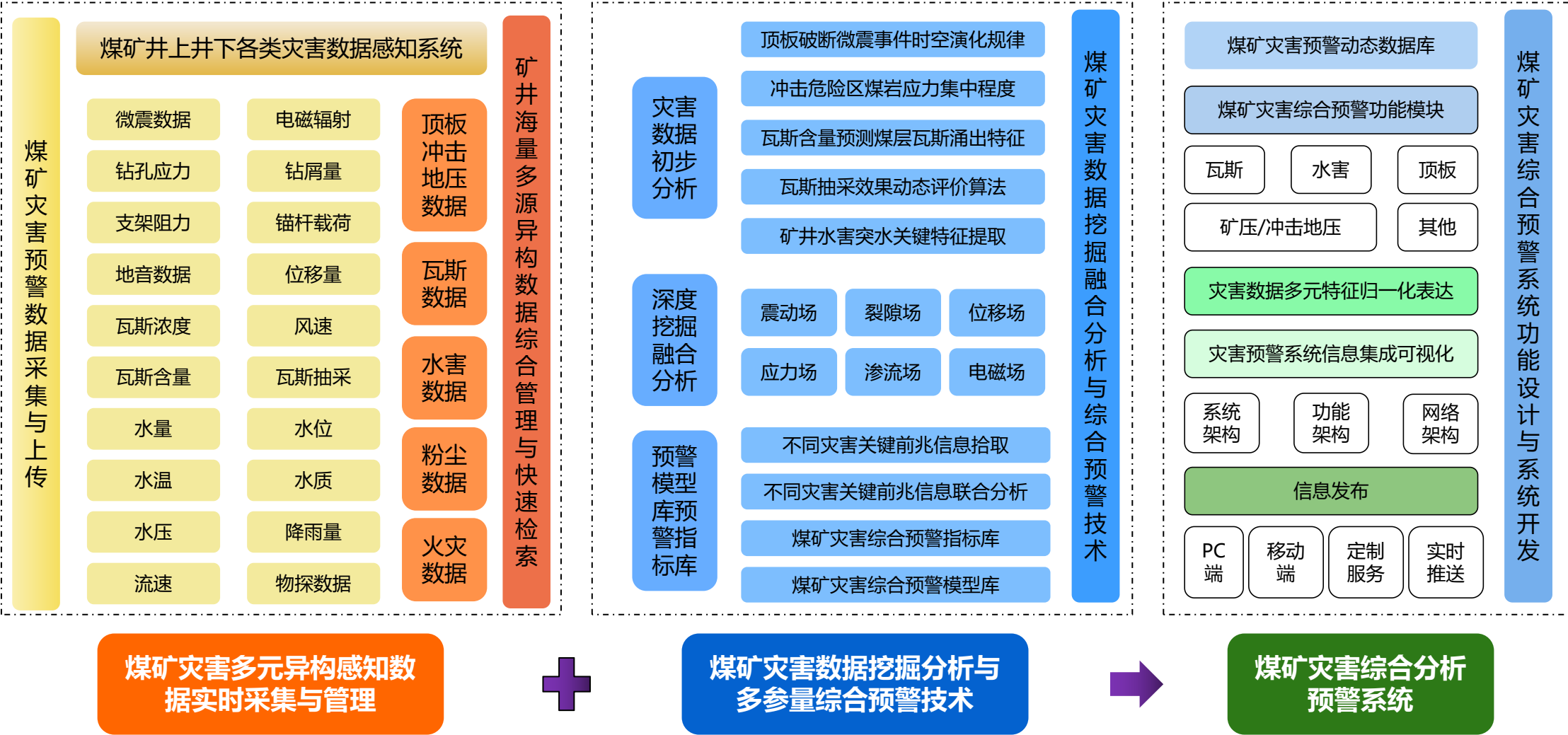
井孔微震监测系统

3.系统参数：
频率范围：
0.1~1500Hz；
灵敏度：
200v/(m/s)；
定位误差：**5~8m**；
时间同步：**1μs**。

3.2 深部开采复合动力灾害防控技术创新



煤矿多灾融合监测预警系统-系统构成



3.2 深部开采复合动力灾害防控技术创新

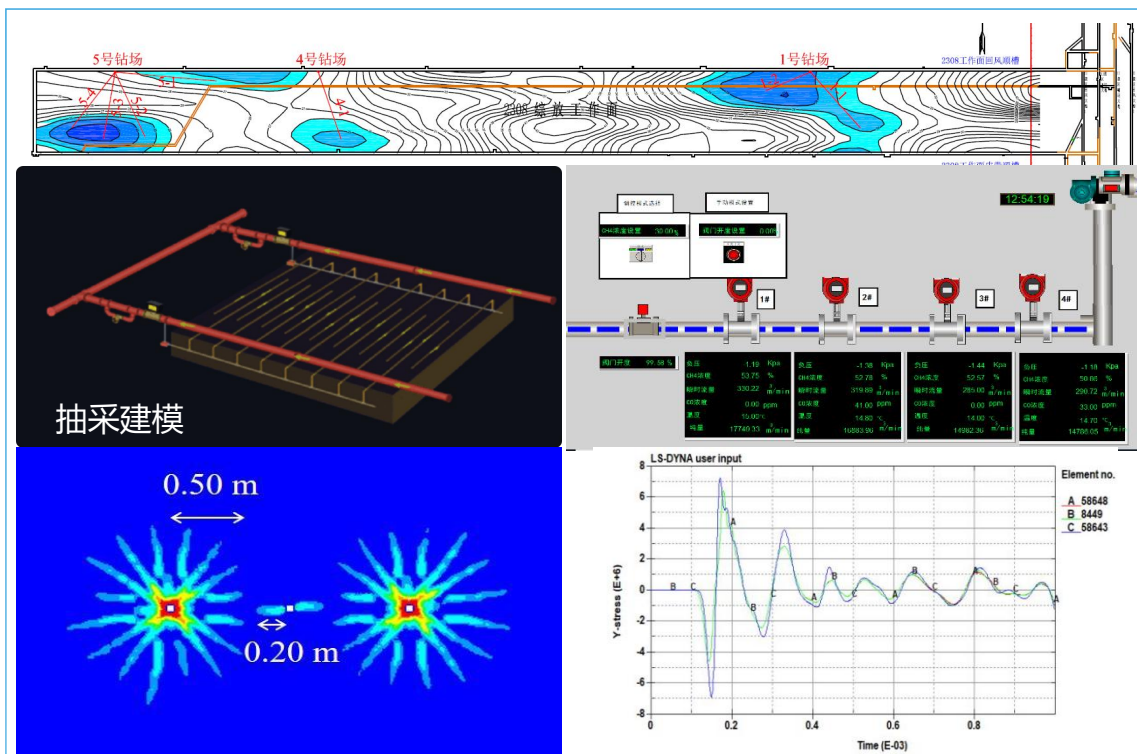
突破仅以灾害监测数据为基础源进行预警现状，以监测数据和灾害的本质信息数据为基础，采用**矿井多灾害突变相关性理论**，通过空间数据融合技术，将**采矿生产数据+地质数据+多灾害监测数据+物探探测静态数据+钻探探测静态数据融合**，结合智能算法及GIS技术，建立多灾害多因素融合空间预警模型，实现**复合灾害的智能预警**，实现**矿井灾害一张图自动分析报告和图表**。



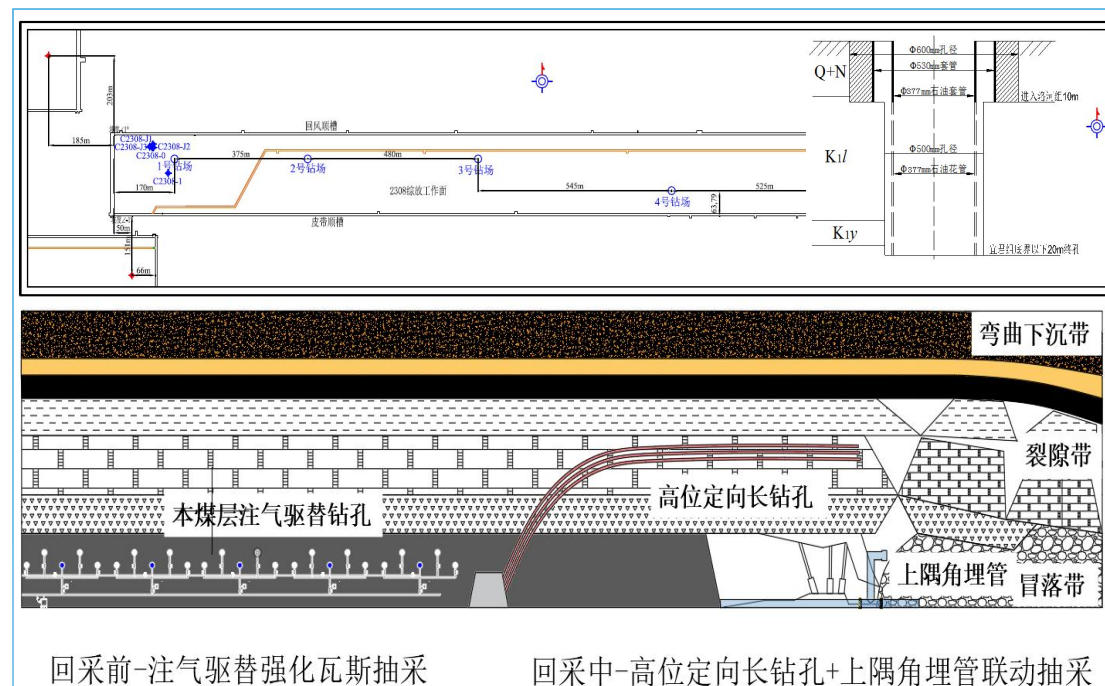
3.2 深部开采复合动力灾害防控技术创新

尝试了永陇矿区深部矿井多灾害协同综合防控成套技术

- ▶ **创立了永陇矿区高位离层水、瓦斯及冲击地压的协同治理理念和综合防控思路**
- ▶ **形成了永陇矿区深部多灾协同综合防控技术：采前“三预”、采中“两抽”及采后“一评价”**



采前“预疏、预抽、预卸”



采中“抽排水和瓦斯”

政院企合作，建设大模型助力深部灾害防控

煤科院矿山行业大模型产品架构设计

N个
场景
应用

应用层

行业知识管理

- 煤矿安全相关文档（科技文献、规程、标准、事故案例、安全操作规程、应急处置指南等）
- 自动分类文档
- 结构化数据提取
- ...

智能办公助手

- 企业经营数据
- 企业采购数据
- 企业产品数据
- 企业科研管理
- 企业日常管理
- 项目方案
- 售后管理
- ...

灾害预警与防控

- 措施合规检查（文本）
- 灾害预测预警（时序）
- 表单OCR识别(图像)
- 插补及异常检测（时序）
- 传感器模式识别（时序）
- ...

企业设备管理

- 设备基础信息
- 设备树管理
- 台账管理
- 设备履历
- 设备跟踪及移交
- 维修和保费管理
- 预警管理
- ...

风险研判

- 研判经验库管理
- 智能研判辅助
- 研判算法库管理
- ...

行业监察监管

- 执法检查方案生成
- 自动执法检查记录
- 执法检查作业指导
- 辅助执法文书制作
- ...

新场景拓展

平台层-煤科院矿山行业大模型（灾害风险研判、监管监察、辅助执法、智能决策、智慧办公）

服务层/工具层

- 语义分析管理
- 标准管理
- 知识库管理
- 规则管理
- 算法服务
- 接口服务
- 指标管理
- 流程管理

数据层

- 数据接入
- 数据存储
- 分类加工
- 宽表汇算
- 数据共享

模型算法库

模型后台管理算法库

...

灾害防控资料算法库

监管监察资料算法库

模型训练

灾害时序分析算法库

重大事故隐患算法库

模型开发

设备风险管理算法库

矿山数据研判算法库

模型评估

企业智慧办公算法库

监管监察执法算法库

模型接口服务

...

...

技术底座
(通用、统一)

物体检测

图像分类

视频分类

异常检测

语义分割

目标跟踪

实例分割

姿态估计

结构化数据预测

对话问答

...

自然语言处理大模型

时序大模型

视觉大模型

时空大模型

多模态大模型

DeepSeek-R1

QWQ-32B

.....

算力平台（计算+网络+存储）

4大
模型
能力

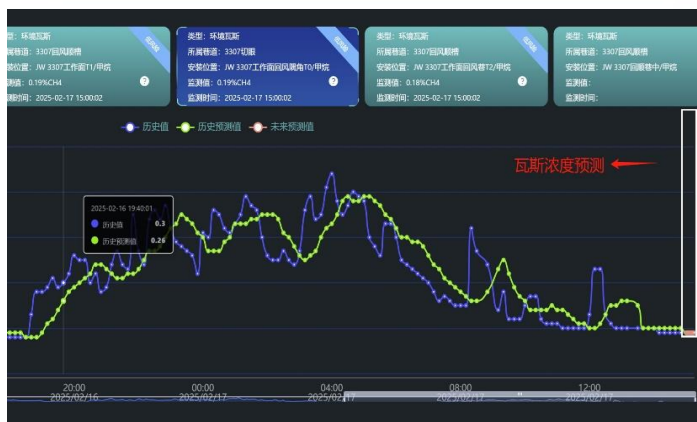
1个
平台

政院企合作，建设大模型助力深部灾害防控

■ 煤矿灾害预警方向-- (1) 灾害风险判识模型优化 **灾害预警大模型（机理与数据驱动）**

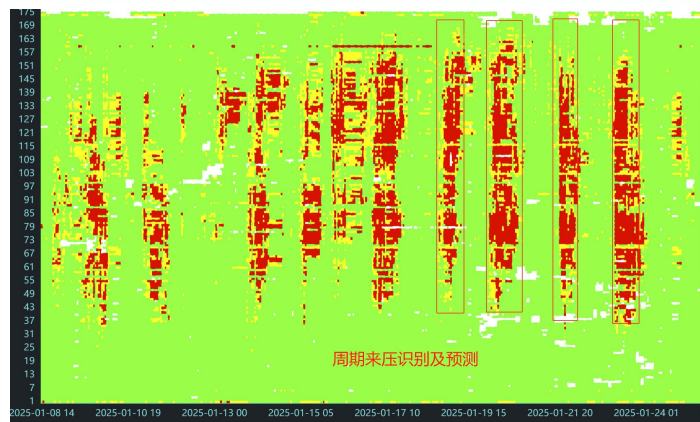
- ① 灾害分类分级综合预警**指标模型体系**，构建不同灾害场景预警模型，补充AI、机器学习算法
- ② **煤矿灾害数据采集**、风险特征分布提取与异常数据清洗功能开发，满足单灾害数据采集需求
- ③ 构建灾害各类型监测系统**可靠性评价方法**，补充到指标模型体系中，实现**测点状态的主动评价**

预警指标模型体系智能化升级



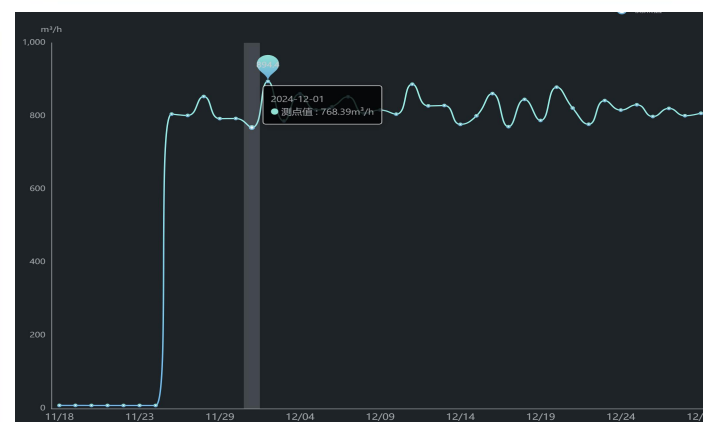
优化指标模型架构，基于预警指标计算结果，构建关键场景模型 ≥ 5 类

风险特征提取与异常数据清洗



研发数据清洗算法和数据自动解析算法，开发数据采集状态改变自动提示功能

监测系统可靠性分析技术



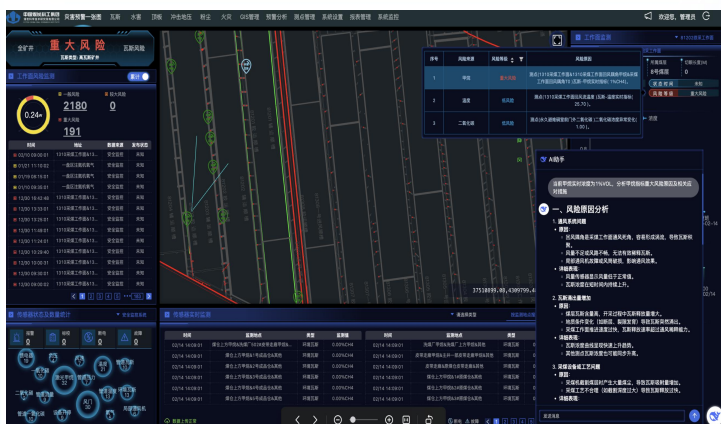
监测预警系统测点布置合规、合法、合理的主动评价，监测预警系统测点状态

政院企合作，建设大模型助力深部灾害防控

■ 煤矿灾害预警方向--（2）灾害防治辅助决策

- ① Deepseek大模型**本地化部署**、应用场景小参数规模能力释放、私有算力资源规划（现场需求）
- ② 研究**预警系统智能对话方法**，结合预警结果自动提问Deepseek大模型，利用知识库深度当前分析当前矿井风险原因和管控风险的具体措施，分析监测系统可靠性，支持灾害防治智能辅助决策

智能解读灾害预警风险详情



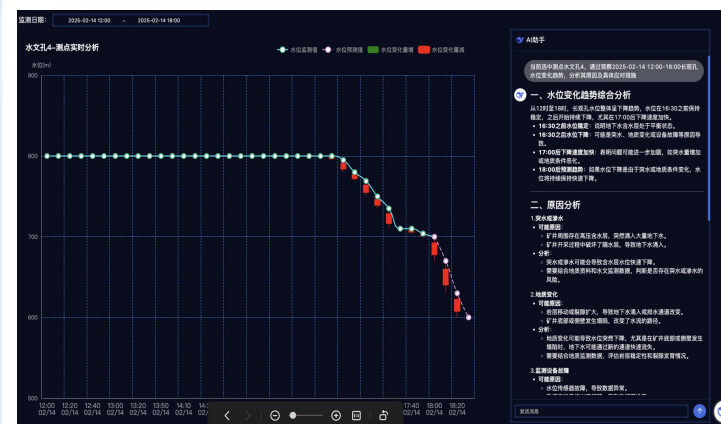
让用户更全面的了解风险原因，丰富预警结果的可读性，提高了产品的智能化程度

助力监测系统可靠性智能评价



评估矿井监测系统是否满足规程标准要求，结合数据文献推荐系统布置方案

赋能煤矿灾害防控智能决策

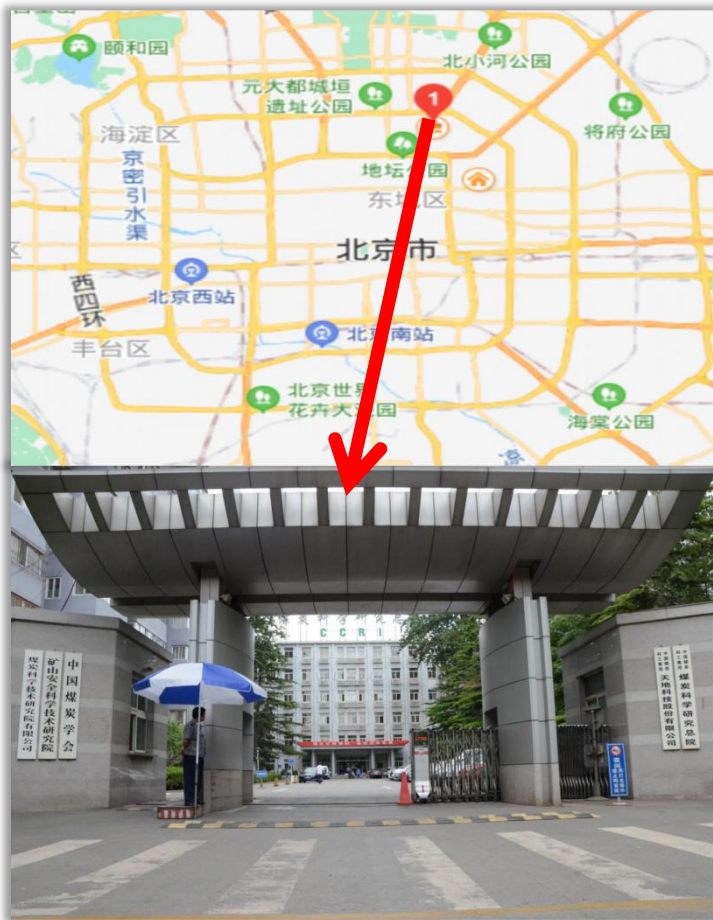


打造一套“智能感知-风险预判-决策支持”三位一体的煤矿安全保障体系

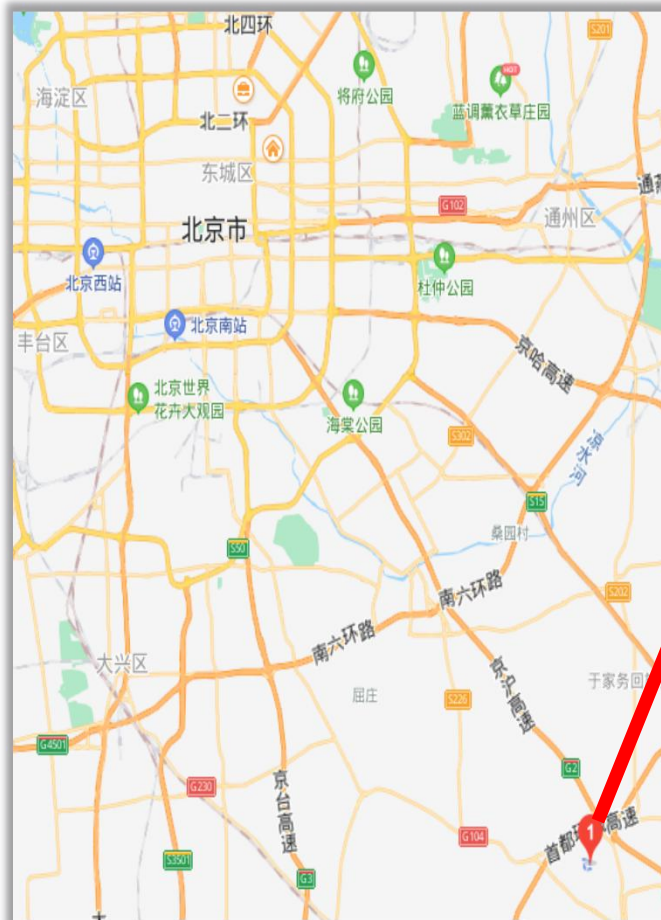


中国煤炭科工集团有限公司
煤炭科学技术研究院有限公司
CCTEG CHINA COAL RESEARCH INSTITUTE

推动煤炭科技进步，促进煤炭绿色发展！



朝阳区和平里青年沟路5号



大兴区采育镇育隆大街5号（产业园）





中国煤炭科工集团有限公司
煤炭科学技术研究院有限公司
CCTEG CHINA COAL RESEARCH INSTITUTE

感谢聆听！ 敬请批评指正！



联系电话：13811560289/010-84263071

邮箱：yonglongshu@163.com